automoción

Motores térmicos y sus sistemas auxiliares

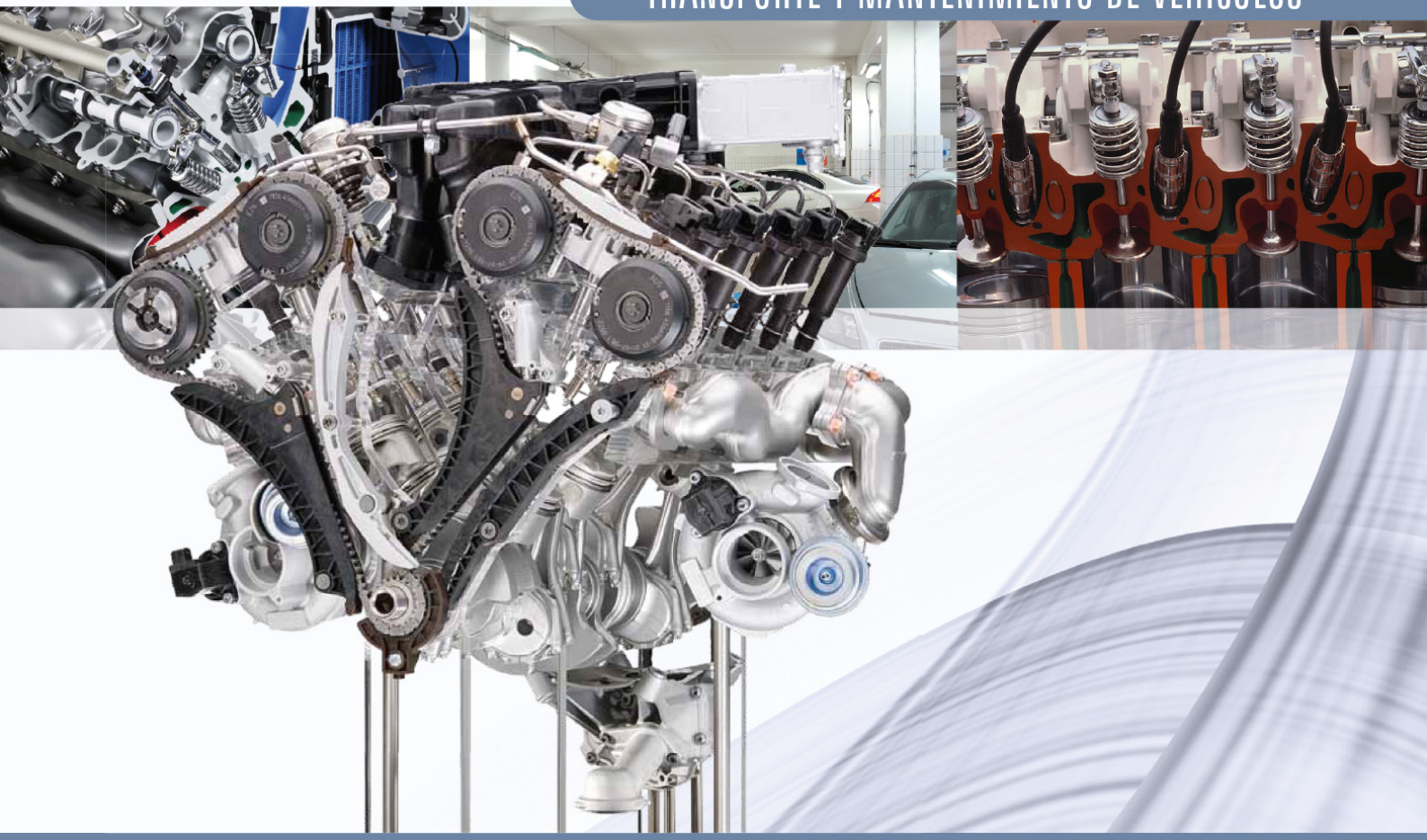
TRANSPORTE Y MANTENIMIENTO DE VEHÍCULOS

Paraninfo
ciclos formativos

Motores térmicos y sus sistemas auxiliares

DAVID GONZÁLEZ CALLEJA

TRANSPORTE Y MANTENIMIENTO DE VEHÍCULOS



automoción

Paraninfo

Motores térmicos y sus sistemas auxiliares

© David González Calleja

Gerente Editorial
María José López Raso

Equipo Técnico Editorial
Alicia Cerviño González
Paola Paz Otero
Marta Oliveira Ramírez

Editora de Adquisiciones
Carmen Lara Carmona

Producción
Nacho Cabal

Diseño de cubierta
Nobel

Preimpresión
Copibook, SL

Reservados los derechos para todos los países de lengua española. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 270 del Código Penal vigente, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reprodujeren o plagiaren, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica fijada en cualquier tipo de soporte sin la preceptiva autorización. Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea este electrónico, químico, mecánico, electro-óptico, grabación, fotocopia o cualquier otro, sin la previa autorización escrita por parte de la Editorial.

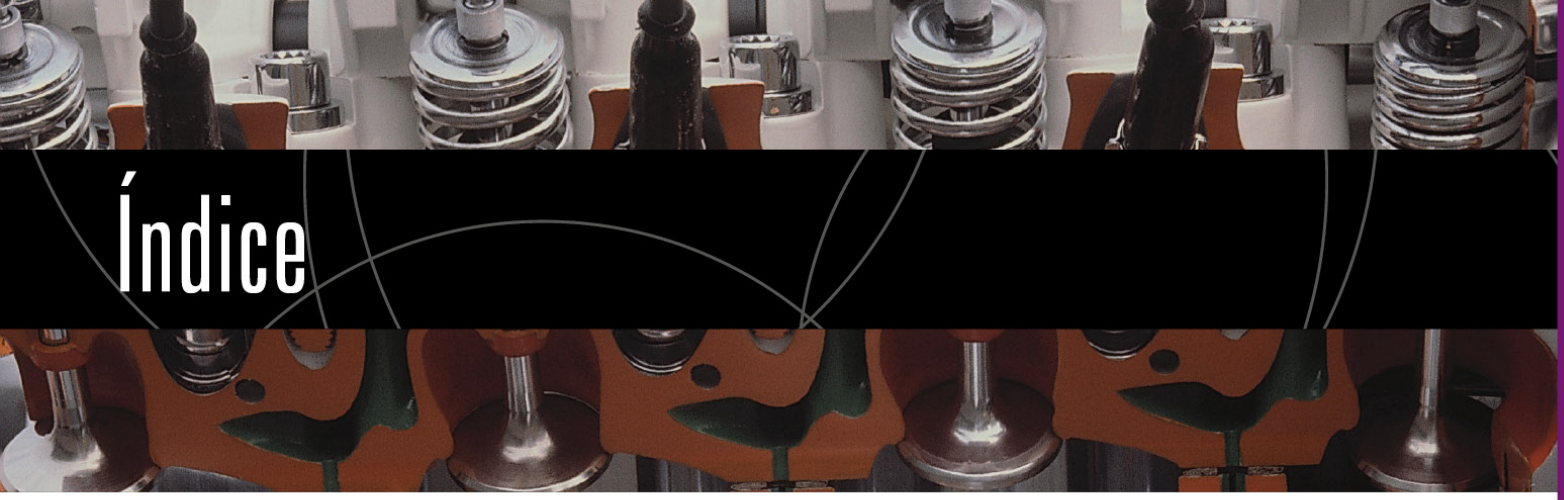
COPYRIGHT © 2015 Ediciones Paraninfo, SA
2.ª edición

Madrid, ESPAÑA
Teléfono: 902 995 240 / Fax: 914 456 218
clientes@paraninfo.es / www.paraninfo.es

ISBN: 978-84-283-3554-6
Depósito legal: M-18203-2015

(13045)

Impreso en España / *Printed in Spain*
Grafilur (Basauri, Bizkaia)



Índice

Agradecimientos XI
Presentación XIII

1. Conceptos elementales de los motores de combustión interna 1

1.1. El motor de combustión interna 2
1.2. Definiciones previas 2
1.3. Necesidades y requerimientos 3
1.4. Clasificación 4

2. Ciclos de trabajo 9

2.1. Termodinámica y trabajo 10
2.1.1. Introducción a la termodinámica y sus principios 10
2.1.2. Transformación de calor en trabajo 12
2.1.3. Transformaciones termodinámicas 13
2.1.4. El ciclo térmico 13
2.2. Ciclos teóricos de trabajo 16
2.2.1. Elementos constructivos básicos de un motor de combustión interna alternativo para poder realizar un ciclo de trabajo . . 16
2.2.2. Parámetros básicos de un motor de combustión interna alternativo para poder realizar un ciclo de trabajo 16
2.2.3. Ciclo teórico de un motor Otto de cuatro tiempos 18
2.2.4. Ciclo teórico de un motor diésel de cuatro tiempos 20
2.2.5. Ciclo teórico de un motor Otto de dos tiempos 23
2.3. Ciclos reales de trabajo 27
2.3.1. Ciclo real de un motor Otto de cuatro tiempos 27
2.3.2. Ciclo real de un motor diésel de cuatro tiempos 30
2.3.3. Ciclo real de un motor Otto de dos tiempos 31
2.4. Rendimientos térmicos teóricos de los ciclos de trabajo 32

3. Parámetros fundamentales y curvas características 39

3.1. Ensayos de motores 40
3.1.1. Tipos de ensayos 40
3.1.2. Estructura de un banco de ensayos 40
3.2. Parámetros fundamentales y métodos de obtención 42
3.2.1. Par (M) 42
3.2.2. Potencia (N) 45
3.2.3. Presión media efectiva (*pme*) 47
3.2.4. Dosado (*F*) 49
3.2.5. Consumo específico (c_e) 50
3.2.6. Rendimiento efectivo (η_e) 51
3.2.7. Elasticidad (*E*) 52
3.2.8. Velocidad lineal media del pistón (c_m) . . 53
3.3. Obtención de las curvas características de un motor 54

4. Elementos constructivos 61

4.1. Elementos fijos 62
4.1.1. Bloque 62
4.1.2. Culata 66
4.1.3. Tapa de balancines 71
4.1.4. Bancada 71
4.1.5. Cárter 72
4.1.6. Colectores 73
4.2. Elementos móviles 73
4.2.1. Elementos del tren alternativo 73
4.2.2. Elementos del sistema de distribución . . 98

5. Desmontaje, verificación y montaje 115

5.1. Extracción y preparación del motor 116
5.2. Desmontaje 119
5.2.1. Mando de la distribución 121

© Ediciones Paraninfo

5.2.2. Culata 124
5.2.3. Elementos de la distribución. 125
5.2.4. Tren alternativo. 127
5.2.5. Bloque de cilindros. 130
5.3. Verificación. 131
5.3.1. Mando de la distribución 131
5.3.2. Culata 131
5.3.3. Elementos de la distribución. 133
5.3.4. Tren alternativo. 141
5.3.5. Bloque de cilindros. 147
5.4. Montaje 149
5.4.1. Bloque de cilindros. 149
5.4.2. Tren alternativo. 149
5.4.3. Elementos de la distribución. 153
5.4.4. Culata 154
5.4.5. Mando de la distribución 156

6. La renovación de la carga 167

6.1. La renovación de la carga. 168
6.2. Rendimiento volumétrico 168
6.3. La renovación de la carga en motores de dos y cuatro tiempos 170
6.4. Sistemas para optimizar el llenado en motores de cuatro tiempos 174
6.4.1. Colectores de admisión variable. 174
6.4.2. Distribución multiválvulas 180
6.4.3. Distribución variable. 181
6.4.4. La sobrealimentación 198
6.5. El sistema de escape en motores de cuatro tiempos 199

7. El sistema de lubricación 207

7.1. Principios de lubricación 208
7.1.1. Funciones de la lubricación 208
7.1.2. Leyes de la fricción. 208
7.1.3. Tipos de lubricación 209
7.2. Lubricantes 211
7.2.1. Características de los lubricantes 211
7.2.2. La viscosidad 212
7.2.3. Clasificación de los aceites. 212
7.2.4. Lubricantes para motores de dos tiempos . 218
7.2.5. Grasas 218
7.3. El sistema de lubricación 219
7.3.1. Tipos de sistemas de lubricación 219
7.3.2. Elementos del sistema de lubricación a presión 221
7.4. Gestión electrónica de la lubricación del motor . . 230
7.4.1. Bomba de aceite con regulación electrónica 230
7.4.2. Sensor de nivel y estado del aceite. 232
7.5. Mantenimiento, averías y comprobaciones del sistema de lubricación. 233
7.5.1. Mantenimiento del sistema de lubricación 233
7.5.2. Averías del sistema de lubricación. 236
7.5.3. Comprobaciones del sistema de lubricación 236

8. El sistema de refrigeración 241

8.1. Objetivo de la refrigeración 242
8.2. Sistemas de refrigeración 243
8.2.1. Por aire 243
8.2.2. Por líquido. 244
8.3. Elementos del sistema de refrigeración por líquido refrigerante. 246
8.3.1. El líquido refrigerante. 246
8.3.2. La bomba de agua. 247
8.3.3. El radiador. 250
8.3.4. El termostato. 251
8.3.5. El depósito de expansión 255
8.3.6. El ventilador 255
8.3.7. Elementos de control del sistema. 261
8.4. Gestión electrónica de la refrigeración del motor. 262
8.5. Mantenimiento, averías y comprobaciones del sistema de refrigeración por líquido refrigerante 266
8.5.1. Mantenimiento 266
8.5.2. Averías 268
8.5.3. Comprobaciones 269

9. Sistemas de encendido 275

9.1. Introducción al sistema de encendido. 276
9.2. Componentes del encendido convencional. 279
9.2.1. Batería. 279
9.2.2. Llave de contacto 279
9.2.3. Bobina. 279
9.2.4. Condensador 280
9.2.5. Conjunto distribuidor 281
9.2.6. Cables de alta tensión 287
9.2.7. Bujías 288
9.3. Evoluciones. 292
9.3.1. Encendido transistorizado a contactos . . 292
9.3.2. Encendido transistorizado con generador Hall 294
9.3.3. Encendido transistorizado con generador inductivo 296

© Ediciones Paraninfo

9.3.4. Encendido electrónico integral 299
9.3.5. Encendido electrónico sin distribuidor . . 303
9.3.6. Otros sistemas 305
9.4. Mantenimiento, averías y comprobaciones 307
9.4.1. Operaciones en el encendido convencional . . 307
9.4.2. Operaciones en el encendido transistorizado a contactos 314
9.4.3. Operaciones en el encendido transistorizado con generador Hall 315
9.4.4. Operaciones en el encendido transistorizado con generador inductivo . . 316
9.4.5. Operaciones en el encendido electrónico integral 316
9.4.6. Operaciones en el encendido electrónico sin distribuidor 317

10. Sistemas de alimentación de gasolina 321

10.1. Combustibles y combustión en motores Otto 322
10.1.1. Combustibles empleados en motores de ciclo Otto 322
10.1.2. El proceso de combustión en los motores de encendido provocado 324
10.2. El carburador 325
10.2.1. Características, componentes y funcionamiento 325
10.2.2. Evoluciones y otros sistemas 342
10.2.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones 345
10.3. La inyección indirecta mecánica 347
10.3.1. Características, componentes y funcionamiento 347
10.3.2. Evoluciones y otros sistemas 358
10.3.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones 363
10.4. La inyección electrónica monopunto 368
10.4.1. Características, componentes y funcionamiento 368
10.4.2. Evoluciones y otros sistemas 376
10.4.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones 378
10.5. La inyección indirecta electrónica multipunto 384
10.5.1. Características, componentes y funcionamiento 384
10.5.2. Evoluciones y otros sistemas 391
10.5.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones 397
10.6. La inyección directa electrónica 402
10.6.1. Características, componentes y funcionamiento 402
10.6.2. Evoluciones y otros sistemas 413
10.6.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones 415
10.7. Sistemas de alimentación a gas 417
10.7.1. Tipos de gases 417
10.7.2. Sistema de alimentación de gas natural 418
10.7.3. Sistema de alimentación de gas licuado de petróleo (GLP) 424

11. Sistemas de alimentación diésel 433

11.1. Combustibles y combustión en motores diésel 434
11.1.1. Combustibles empleados en motores de ciclo diésel 434
11.1.2. El proceso de combustión en los motores diésel 436
11.2. Sistemas con bomba de inyección en línea . . . 439
11.2.1. Características, componentes y funcionamiento 439
11.2.2. Evoluciones y otros sistemas 453
11.2.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones 454
11.3. Sistemas con bomba de inyección rotativa de émbolo axial 458
11.3.1. Características, componentes y funcionamiento 458
11.3.2. Evoluciones y otros sistemas 475
11.3.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones 480
11.4. Sistemas con bomba de inyección rotativa de émbolos radiales 485
11.4.1. Características, componentes y funcionamiento 485
11.4.2. Evoluciones y otros sistemas 495
11.4.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones 500
11.5. Sistemas de inyección con inyector-bomba . . . 504
11.5.1. Características, componentes y funcionamiento 504
11.5.2. Evoluciones y otros sistemas 514
11.5.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones 518
11.6. Sistemas de inyección *common rail* 520
11.6.1. Características, componentes y funcionamiento 520

© Ediciones Paraninfo

11.6.2. Evoluciones y otros sistemas 528
11.6.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones 532

12. Sistemas de sobrealimentación 539

12.1. Introducción a la sobrealimentación 540
12.2. Tipos de compresores 541
12.2.1. Compresores mecánicos 541
12.2.2. Turbocompresores 546
12.3. Los turbocompresores en motores de gasolina. 558
12.4. Los turbocompresores en motores diésel 560
12.5. Combinación de compresores 561
12.5.1. Turbocompresores en paralelo 561
12.5.2. Turbocompresores en serie 561
12.5.3. Combinación de compresor mecánico y turbocompresor 563
12.5.4. Combinación de compresor eléctrico y turbocompresor 566
12.6. Mantenimiento, averías y comprobaciones ... 566
12.6.1. Mantenimiento 566
12.6.2. Averías 567
12.6.3. Comprobaciones 568

13. Sistemas anticontaminación 575

13.1. La reacción de combustión y sus productos .. 576
13.2. Evolución de la normativa anticontaminación .. 577
13.3. Evolución de los vehículos y de los motores térmicos para reducir las emisiones contaminantes 580
13.4. El reciclado de los vapores de aceite 581
13.5. El reciclado de los vapores de gasolina 581
13.6. La inyección de aire en el escape 584
13.7. Los catalizadores y las sondas lambda 586
13.8. El sistema de recirculación de los gases de escape EGR 594
13.9. El catalizador-acumulador de NO_X 598
13.10. El filtro de partículas en los motores diésel DPF 602
13.11. El sistema de reducción catalítica selectiva SCR 610
13.12. El diagnóstico de los gases de escape 613
13.13. El diagnóstico de a bordo 616

14. Prevención de riesgos laborales y protección ambiental 627

14.1. Introducción a la prevención de riesgos laborales y a la protección ambiental 628
14.1.1. Prevención de riesgos laborales 628
14.1.2. Protección ambiental 630
14.2. Riesgos inherentes a los procesos de mantenimiento y reparación de motores 631
14.3. Prevención y protección colectiva 632
14.4. Equipos de protección individual 633
14.5. Señalización de seguridad en el taller 638
14.6. Fichas de seguridad 643
14.7. Gestión medioambiental 644
14.8. Almacenamiento y retirada de residuos 647

Anexo A. El motor rotativo Wankel 650

Anexo B. El osciloscopio como herramienta de diagnóstico 656

Anexo C. Diccionario técnico de motores (inglés-español) 662

Anexo D. Conversión de unidades 673

Índice analítico 674

© Ediciones Paraninfo

Agradecimientos

Por las facilidades dadas para la elaboración de este manual, así como por las imágenes cedidas para su inclusión, Ediciones Paraninfo agradece su colaboración a las siguientes empresas:

Audi-Volkswagen, BMW, DaimlerChrysler España S.A., Renault, Citroën, Seat, Fiat, Festo Ibérica, Bosch, Lancia, Mazda, Opel y Toyota

Ediciones Paraninfo ha procurado reconocer en las referencias los derechos de terceros y cumplir todos los requisitos establecidos por la Ley de Propiedad Intelectual. Ante la posibilidad de alguna omisión o error, se excusa de antemano y se ofrece a realizar las correcciones pertinentes en posteriores ediciones o reimpresiones de esta obra.

Presentación

Los motores de combustión interna han experimentado un gran avance tecnológico en los últimos años, especialmente en lo que se refiere a sus sistemas auxiliares. Gracias a ellos, los motores actuales son más potentes, más eficientes y menos contaminantes.

La segunda edición de este libro aborda ampliamente los contenidos del módulo profesional de Motores Térmicos y sus Sistemas Auxiliares, del Ciclo Formativo de Grado Superior correspondiente al título de Técnico Superior en Automoción, establecido por el Real Decreto 1976/2008, de 3 de noviembre.

La obra se estructura en catorce capítulos, que parten de una introducción a los conceptos elementales de los motores de combustión interna alternativos. Posteriormente, se dedican dos capítulos a los fundamentos teóricos, correspondiendo el primero a los ciclos de trabajo y el segundo a los parámetros fundamentales y curvas características. A pesar de tener una elevada componente teórica, se resuelven y proponen diversos tipos de cuestiones y problemas que ayudan a comprender mejor el funcionamiento de los motores de automoción y sirven para que el alumno desarrolle un método sistemático de trabajo. Seguidamente, se destina un extenso tema a los elementos constructivos, donde se describen de forma minuciosa todas las partes y piezas de un motor térmico, necesario para abordar el siguiente capítulo, que desarrolla paso a paso los procesos de desmontaje, verificación y montaje de un motor empleado en automoción. Como complemento a la descripción de los elementos constructivos, el capítulo de la renovación de la carga explica la enorme importancia que tiene el optimizar el llenado del motor para maximizar su rendimiento, además de poseer un elevado nivel de actualización, ya que describe las últimas tecnologías adoptadas por los diferentes fabricantes para mejorar el rendimiento volumétrico y reducir las emisiones contaminantes. Los siguientes dos capítulos tratan del sistema de lubricación y del sistema de refrigeración, necesarios para el funcionamiento del motor, donde se hace una mención especial a la gestión electrónica de estos sistemas.

Los siguientes capítulos desarrollan los sistemas auxiliares del motor, comenzando por los sistemas de encendido, imprescindibles para provocar el salto de chispa en los motores de ciclo Otto. Después se dedican dos amplios capítulos a los sistemas de alimentación, tanto para motores de gasolina como para motores diésel. Dada la multitud de configuraciones que pueden tener los sistemas de alimentación y la facilidad con la que el lector puede perderse en las explicaciones, estos dos capítulos se han estructurado de la misma forma, ordenando cada sistema de forma cronológica y dividiendo cada uno de ellos en tres apartados, tratando el primero los aspectos básicos de cada sistema, el segundo otros tipos y el tercero las operaciones básicas. En el capítulo de sistemas de alimentación de gasolina se dedica un apartado a los motores que pueden funcionar con gas natural y GLP. A continuación, se aborda la sobrealimentación de motores, explicando las peculiaridades de su aplicación en motores de gasolina y diésel, además de los diferentes tipos y combinaciones de compresores. En el capítulo de sistemas anticontaminación se hace un resumen de las sustancias contaminantes que emite un vehículo y se explican las diferentes soluciones que han adoptado los fabricantes para poder cumplir la normativa anticontaminación. Al final de este capítulo se analiza el diagnóstico de a bordo que incorporan los vehículos modernos con el fin de controlar las emisiones contaminantes.

El último capítulo se dedica a la prevención de riesgos laborales y protección ambiental, de vital importancia para los profesionales del sector de automoción, por lo que es recomendable compaginar sus contenidos con los capítulos en los que se describan operaciones de mantenimiento y reparación y, sobre todo, antes de proceder a las prácticas en el taller.

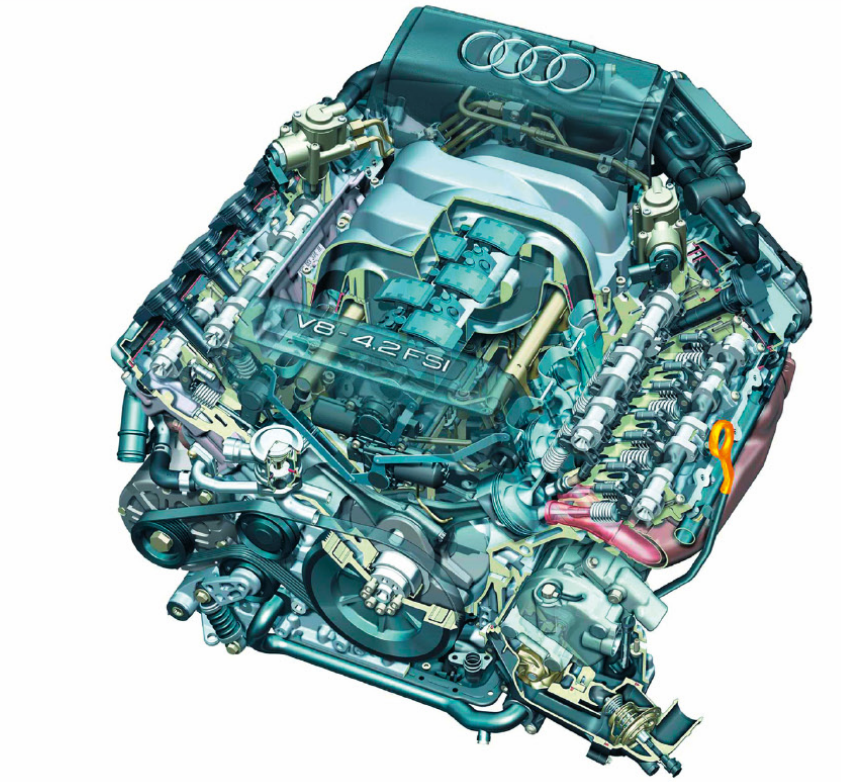
Se incluyen además cuatro anexos. El primero describe el motor rotativo Wankel, que por sus características particulares de funcionamiento merece la pena estudiarlo aparte. El segundo es un manual de manejo del osciloscopio, debiendo estar familiarizado el profesional de la reparación con este dispositivo, ya que constituye una potente herramienta de diagnóstico que ayuda a la localización de averías. El tercero es un breve diccionario técnico de inglés a español, de gran utilidad en el caso de manejar textos que estén escritos en el idioma anglosajón, como manuales, hojas de especificaciones o catálogos. El cuarto anexo es un conversor de unidades, que sirve de apoyo a la hora de resolver problemas numéricos o en el caso de tener que realizar algún cambio de unidades en el taller o en la práctica profesional.

En cada capítulo se incluyen numerosas fotografías y figuras, actualizadas en esta nueva edición, que apoyan los contenidos desarrollados en el texto, facilitando al alumno la comprensión de los mismos, incluso si su aprendizaje es de tipo autodidacta.

En resumen, este libro pretende ser un manual asequible, manejable, fácil de comprender y actualizado, destinado a aquellas personas que tengan interés en adentrarse en el mundo de los motores térmicos y sus sistemas auxiliares.

© Ediciones Paraninfo

Conceptos elementales de los motores de combustión interna



1

CONTENIDOS

1.1. El motor de combustión interna
1.2. Definiciones previas
1.3. Necesidades y requerimientos
1.4. Clasificación

OBJETIVOS

- Entender el motor de combustión interna como una máquina térmica.
- Definir los conceptos fundamentales de los motores térmicos.
- Conocer las necesidades y requerimientos de los motores.
- Clasificar los motores según diferentes criterios.

Los motores de combustión interna empleados en automoción son máquinas térmicas que aprovechan la energía de la combustión para transformarla en trabajo. Con esta energía y a través de un mecanismo biela–manivela pueden generar un par motor y aplicarlo al resto de la cadena cinemática hasta las ruedas, propulsando el vehículo.

En este capítulo se va a hacer una introducción a los motores térmicos, definiendo los conceptos básicos para empezar su estudio y se realizará una clasificación de los mismos basándose en diferentes aspectos funcionales y físicos.

1.1. El motor de combustión interna

El motor de combustión interna es una máquina térmica capaz de transformar la energía térmica almacenada en un fluido combustible en energía mecánica, proporcionando un trabajo. Este trabajo se aplicará a la cadena cinemática del vehículo consiguiendo su movimiento. La Figura 1.1 muestra esquemáticamente este proceso.

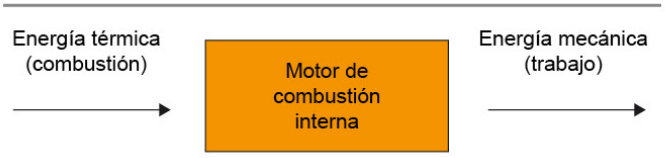


Figura 1.1. *Proceso de conversión de la energía térmica del combustible en energía mecánica o trabajo.*

Sabías que...

Rudolf Diesel (1858-1913) inventó el motor de encendido por compresión que lleva su mismo nombre.

Sabías que...

Nicolaus August Otto (1832-1891) mejoró el motor de gas del inventor francés Etienne Lenoir y en 1876 construyó el primer motor de combustión interna de cuatro tiempos.

1.2. Definiciones previas

Antes de proceder al estudio de los motores de combustión interna es necesario definir los siguientes términos:

- **Motor térmico:** máquina térmica que produce energía mecánica por el aprovechamiento de la energía térmica almacenada en un fluido por medio de una combustión.
- **Motor de Combustión Interna (MCI):** motor térmico en el que la combustión se produce en su interior. Existen motores de combustión externa, donde el aprovechamiento de la energía térmica del combustible se produce en un equipo independiente, como una caldera, una cámara de combustión… Algunas turbinas de gas o el motor Stirling son ejemplos de motores de combustión externa.
- **Motor de Combustión Interna Alternativo (MCIA):** motor de combustión interna en el que el ciclo de trabajo y la transmisión de fuerzas se produce mediante el desplazamiento lineal y repetitivo de un émbolo o pistón, como muestra la Figura 1.2. La transformación de la fuerza lineal generada por la presión de los gases tras la combustión en un par motor giratorio se realiza a través de un mecanismo biela-manivela. Por otro lado existen motores de combustión interna rotativos, como el motor Wankel.
- **Motor de Encendido Provocado (MEP) o de ciclo Otto:** comprime una mezcla de aire y combustible, produciéndose la combustión por una causa externa, es decir, por el salto de chispa de la bujía.
- **Motor de Encendido por Compresión (MEC) o de ciclo diésel:** comprime aire hasta que este adquiere una gran presión y temperatura, momento en el cual se inyecta el combustible y se produce la combustión por autoinflamación del mismo.

© Ediciones Paraninfo

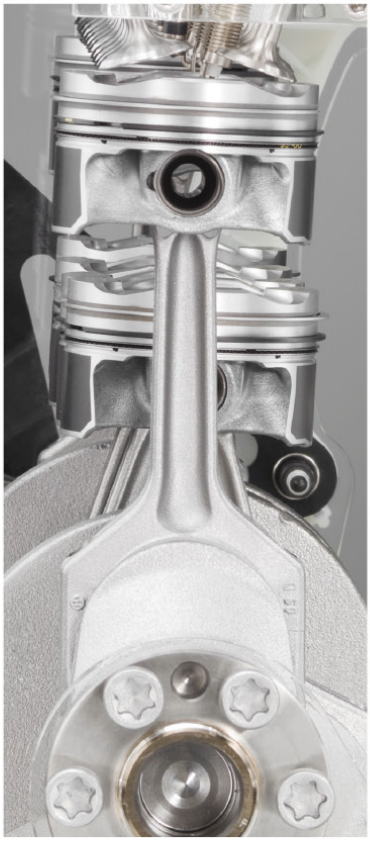


Figura 1.2. *Interior de un motor de combustión interna alternativo.*

Recuerda que...

En un motor Otto la combustión se inicia por una causa externa o salto de chispa de la bujía.

Recuerda que...

En un motor diésel la combustión se inicia por autoinflamación del combustible inyectado cuando este entra en contacto con el aire comprimido a alta presión y temperatura.

1.3. Necesidades y requerimientos

Los motores de combustión tienen ciertas necesidades básicas para su funcionamiento normal y para satisfacerlas se requieren ciertos elementos, dispositivos y sistemas. Por otro lado también tienen otras necesidades, «no básicas», que optimizan su funcionamiento o consiguen que cumplan ciertas condiciones operativas. La Tabla 1.1 trata de resumir las necesidades y requerimientos de los motores de combustión interna alternativos.

A la vista de las necesidades y requerimientos de los motores de combustión interna, su estudio se puede dividir en dos grandes bloques:

- **Estudio de los motores como máquina térmica:** comprende los siguientes aspectos:
  - Análisis de los ciclos de trabajo.
  - Estudio de sus parámetros fundamentales y curvas características.
  - Descripción de los elementos constructivos.

  Normalmente se suelen incluir en este estudio los sistemas de lubricación y refrigeración.
- **Estudio de los sistemas auxiliares del motor:** abarca los siguientes sistemas:
  - Sistema de encendido en motores Otto.
  - Sistemas de alimentación.
  - Sistema de sobrealimentación.
  - Sistemas anticontaminación.

© Ediciones Paraninfo

TABLA 1.1

Necesidades básicas	Requerimientos básicos
Transformación del movimiento lineal del pistón en giratorio, generando un par motor	Mecanismo biela-manivela
Sincronizar la admisión de gases frescos y el escape de los quemados	Sistema de distribución
Introducir el combustible	Sistema de alimentación
Producir la explosión en los motores de ciclo Otto	Sistema de encendido
Disminuir la fricción y evitar agarrotamientos	Sistema de lubricación
Mantener la temperatura de funcionamiento	Sistema de refrigeración
Necesidades «no básicas»	**Requerimientos «no básicos»**
Conseguir más potencia específica	Sistema de sobrealimentación
Reducir las emisiones contaminantes	Sistemas anticontaminación
Consumir poco, aumentar la fiabilidad, reducir el ruido…	Perfeccionamiento de todos los sistemas

1.4. Clasificación

A día de hoy, con todas las tecnologías que pueden incorporar los motores de combustión interna, resulta complicado hacer una clasificación de los mismos, ya que existen multitud de combinaciones posibles de los diferentes sistemas auxiliares del motor. A continuación se realiza una somera clasificación que abarca aspectos funcionales y físicos de los motores empleados en automoción.

- **Según el ciclo que realicen:** para que el motor pueda entregar un trabajo es necesario producir la combustión de una mezcla de un combustible (gasolina o gasoil) y un comburente (oxígeno del aire). Según el modo de realizar la combustión, los motores pueden realizar dos ciclos diferentes cuyas características se detallan a continuación:

  – **Ciclo Otto:**

  » Admite una mezcla homogénea de combustible (gasolina) y aire.

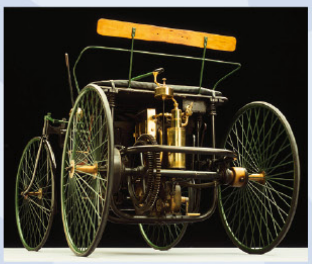
  » La mezcla se comprime y la combustión empieza tras el salto de la chispa, por lo que se llaman motores de encendido provocado o MEP.

  » La regulación de la carga es cuantitativa, es decir, la proporción de combustible y aire varía entre unos límites muy estrechos, pero a mayor demanda de potencia, mayor cantidad de mezcla. La Figura 1.3 representa simbólicamente este concepto.

Estas son las características de los motores de gasolina convencionales. Actualmente los motores de inyección directa de gasolina pueden variar el modo de regular la carga dependiendo de las condiciones de funcionamiento del motor.

Sabías que...

Karl Benz (1844-1929) construyó en 1886 el primer vehículo automotor de tres ruedas.



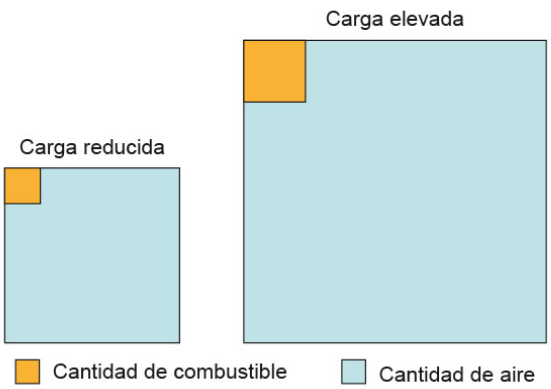


Figura 1.3. *Concepto de regulación de la carga cuantitativa.*

© Ediciones Paraninfo

– **Ciclo diésel:**

» Admiten aire.

» El aire se comprime y al final de la compresión se inyecta el combustible (gasoil), autoinflamándose e iniciándose la combustión, por lo que se llaman motores de encendido por compresión (MEC).

» La regulación de la carga es cualitativa, es decir, la proporción de combustible y aire varía dependiendo de la demanda de potencia del motor. El motor admite la mayor cantidad de aire posible y a mayor demanda de potencia, mayor cantidad de combustible inyectado. La Figura 1.4 representa esquemáticamente este tipo de regulación.

- **Según la forma que tengan de realizar el ciclo:** para realizar el ciclo de trabajo, los motores de combustión interna, ya sean gasolina o diésel, necesitan cuatro fases: admisión, compresión, combustión-expansión y escape. En función de las carreras necesarias del pistón para realizar estas cuatro fases se distinguen dos tipos de motores:

  – **Motores de dos tiempos:** realizan las cuatro fases en dos carreras del pistón, es decir, completan un ciclo por cada vuelta de giro del cigüeñal.

  – **Motores de cuatro tiempos:** realizan las cuatro fases en cuatro carreras del pistón, es decir, completan un ciclo por cada dos vueltas de giro del cigüeñal.

Recuerda que...

La regulación de la carga es el modo en que se controla la entrega de potencia del motor.

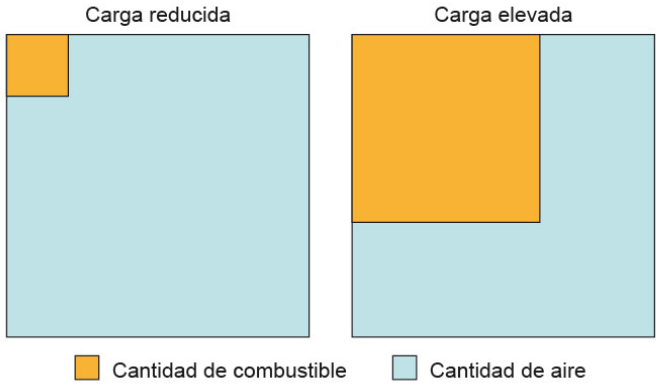


Figura 1.4. *Concepto de regulación de la carga cualitativa.*

- **Según la presión de admisión:** dependiendo de la presión existente en el colector de admisión se distinguen:

  – **Motores atmosféricos:** la presión en el colector de admisión es aproximadamente la atmosférica. Este tipo de motores también son llamados de aspiración natural.

  – **Motores sobrealimentados:** la presión en el colector de admisión es superior a la atmosférica. Esto se consigue mediante la instalación de un compresor mecánico o un turbocompresor, como el mostrado en la Figura 1.5.

Figura 1.5. *Turbocompresor.*

- **Según el número y disposición de los cilindros:** dependiendo de la configuración del vehículo los cilindros se pueden disponer de la siguiente forma:

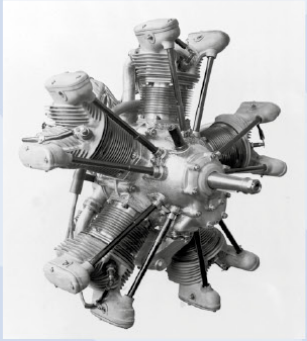
  – En línea.

  – En V, V estrecha (VR) o doble V (W).

  – Opuestos o bóxer.

Sabías que...

La disposición de los cilindros en estrella es una configuración muy empleada en aviación.



© Ediciones Paraninfo

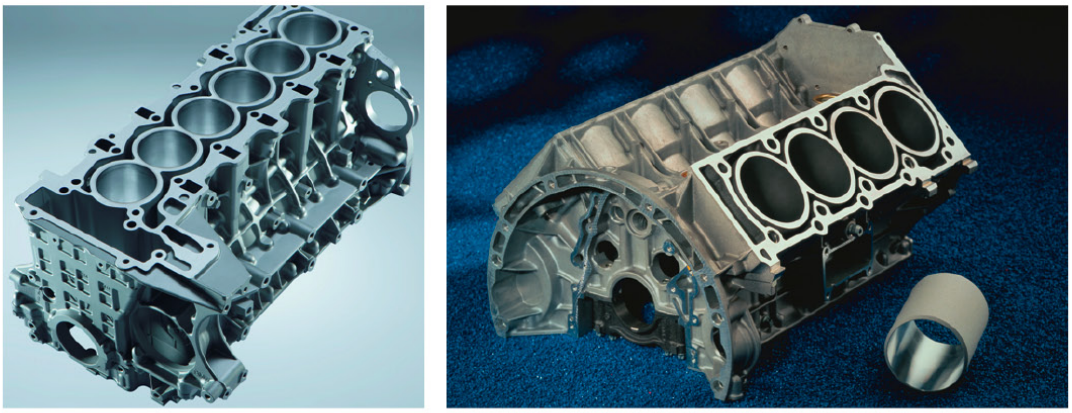


Figura 1.6. *Bloque de 6 cilindros en línea y de 8 cilindros en V.*

La Figura 1.6 muestra un bloque de cilindros en línea y otro en V.

- **Según su ubicación en el vehículo:** muy relacionado con el número y disposición de los cilindros, las ubicaciones de los motores de automoción actuales más comunes son:
  - **Delantero transversal:** la posición delantera del motor favorece la refrigeración del mismo, protege a los ocupantes ante un choque frontal, y permite un mayor aprovechamiento del espacio. Cuando el motor se sitúa delante y de forma transversal, como en el caso de la Figura 1.7, se consigue un ahorro de espacio en el vano motor, además de ser una configuración óptima para la tracción delantera.

Figura 1.7. *Motor delantero transversal.*

  - **Delantero longitudinal:** esta disposición favorece un mejor reparto de pesos y es óptima para vehículos con tracción trasera. La Figura 1.8 muestra esta configuración para un turismo y un todoterreno.

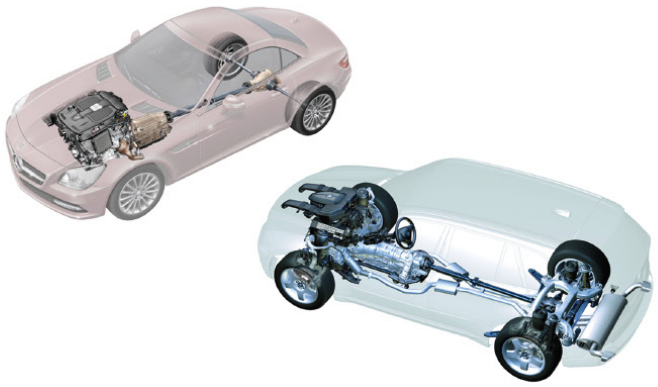


Figura 1.8. *Motor delantero longitudinal para un turismo y un todoterreno.*

  - **Central:** normalmente esta disposición se emplea en vehículos deportivos, como el de la Figura 1.9, ya que es la que tiene mejores cualidades dinámicas desde el punto de vista de la estabilidad. Sin embargo, reduce mucho el espacio del habitáculo.

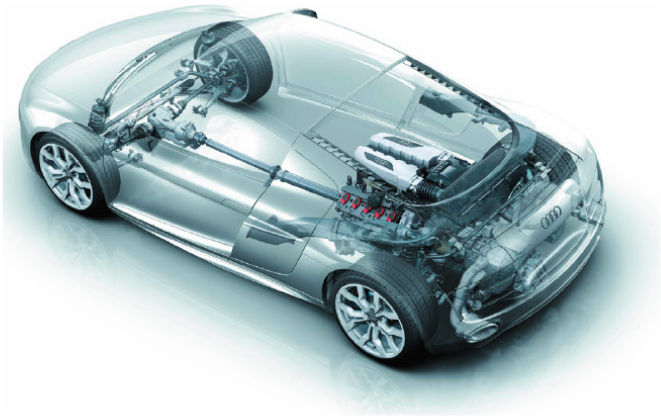
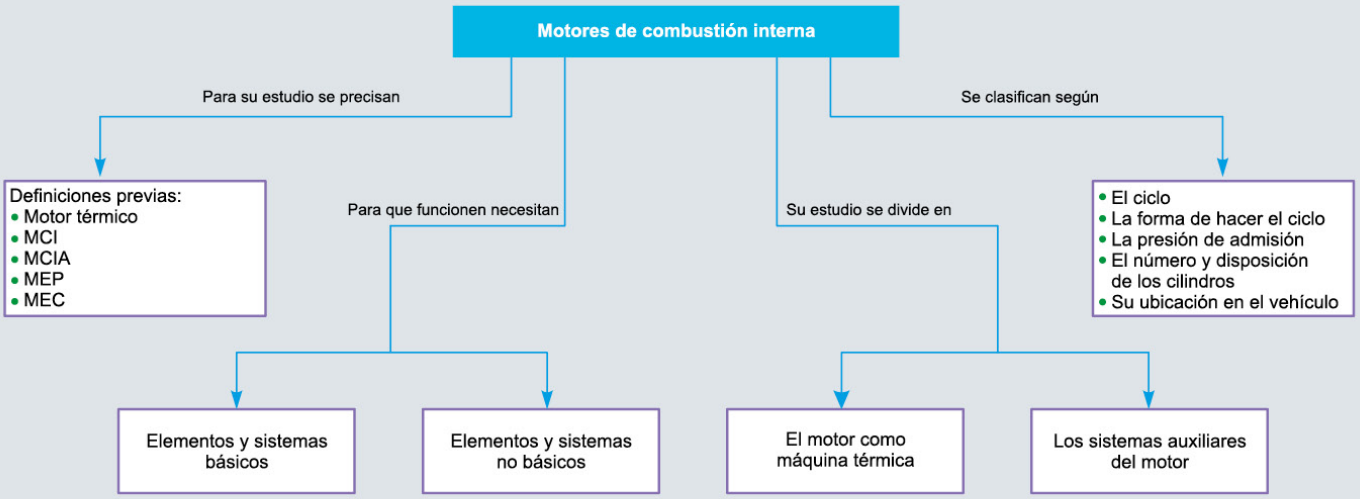


Figura 1.9. *Motor central en un vehículo deportivo.*

© Ediciones Paraninfo

SÍNTESIS

Conceptos elementales de los motores de combustión interna



© Ediciones Paraninfo

ACTIVIDADES FINALES

Conceptos elementales de los motores de combustión interna

COMPRUEBA

1.1. El motor de combustión interna es una máquina:

a) Mecánica.
b) Térmica.
c) Eléctrica.
d) Híbrida.

1.2. El motor térmico en el que la combustión se produce por una causa externa es:

a) El de encendido provocado o de ciclo Otto.
b) El de encendido por compresión o de ciclo Otto.
c) El de encendido provocado o de ciclo diésel.
d) El de encendido por compresión o de ciclo diésel.

1.3. El motor térmico en el que la combustión se produce por autoinflamación del combustible es:

a) El de encendido provocado o de ciclo Otto.
b) El de encendido por compresión o de ciclo Otto.
c) El de encendido provocado o de ciclo diésel.
d) El de encendido por compresión o de ciclo diésel.

1.4. El motor de combustión interna que en la fase de admisión admite una mezcla homogénea de combustible y aire es:

a) El de ciclo Otto.
b) El de ciclo diésel.
c) a y b son ciertas.
d) Ninguna de las anteriores.

1.5. El motor de combustión interna en el que la regulación de la carga siempre es cualitativa es:

a) El de ciclo Otto.
b) El de ciclo diésel.
c) a y b son ciertas.
d) Ninguna de las anteriores.

1.6. En un motor de ciclo diésel la inyección del combustible tiene lugar:

a) Al inicio de la fase de admisión.
b) Al final de la fase de admisión.
c) Al inicio de la fase de compresión.
d) Al final de la fase de compresión.

1.7. Los motores de combustión interna que realizan un ciclo completo en una vuelta de giro del cigüeñal son:

a) Los de dos tiempos.
b) Los de cuatro tiempos.
c) a y b son ciertas.
d) Ningún motor completa un ciclo completo en una vuelta de giro del cigüeñal.

1.8. Los motores de combustión interna que realizan un ciclo completo en cuatro carreras del pistón son:

a) Los de dos tiempos.
b) Los de cuatro tiempos.
c) a y b son ciertas.
d) Ningún motor completa un ciclo completo en cuatro carreras del pistón.

1.9. Los motores de combustión interna que funcionan con una presión en el colector de admisión aproximadamente igual a la atmosférica son:

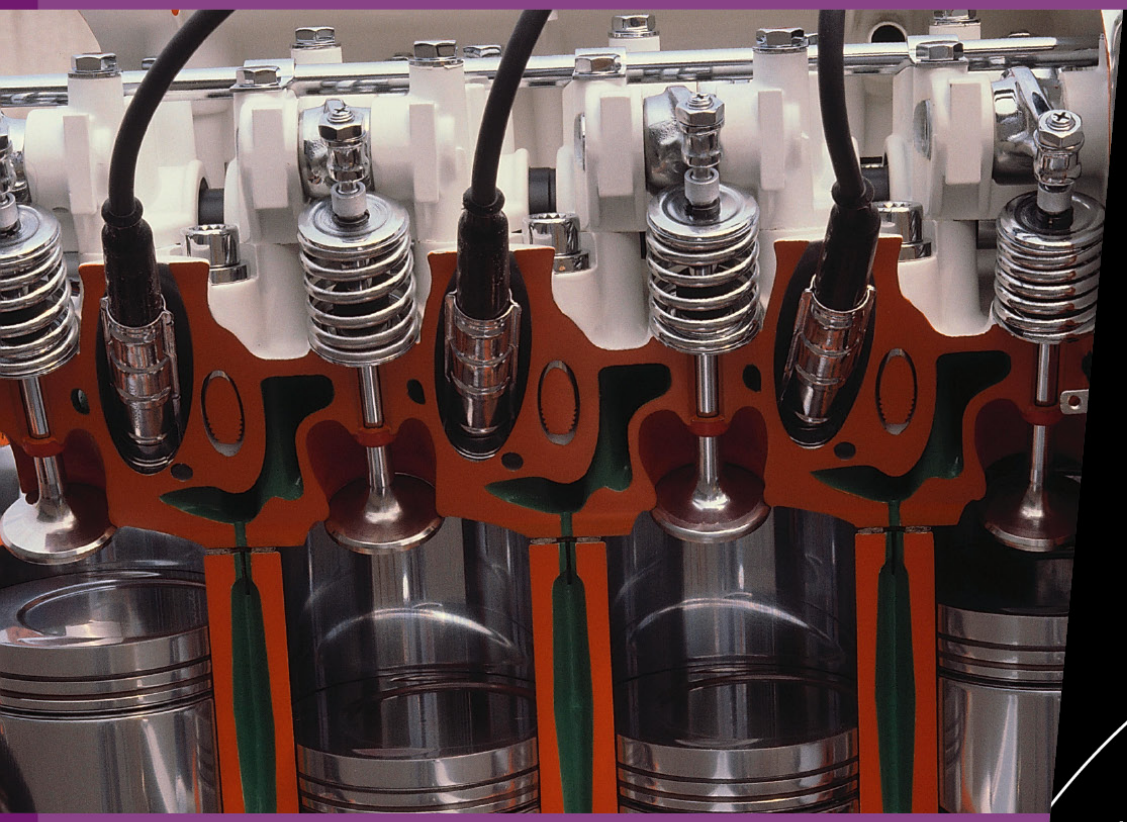
a) De ciclo Otto.
b) De ciclo diésel.
c) Atmosféricos.
d) Sobrealimentados.

1.10. La posición del motor que permite aprovechar mejor el espacio del habitáculo y es la más apropiada para la tracción delantera es:

a) Delantero transversal.
b) Delantero longitudinal.
c) Central.
d) Trasero.

© Ediciones Paraninfo

Ciclos de trabajo



2

CONTENIDOS

2.1. Termodinámica y trabajo
2.2. Ciclos teóricos de trabajo
2.3. Ciclos reales de trabajo
2.4. Rendimientos térmicos teóricos de los ciclos de trabajo

OBJETIVOS

- Conocer los conceptos básicos de termodinámica necesarios para estudiar los ciclos de trabajo de los motores de combustión interna.
- Describir los elementos constructivos y parámetros básicos de los motores térmicos que permiten definir los ciclos de trabajo.
- Comprender cómo se realiza la transformación de calor en trabajo.
- Analizar los ciclos de trabajo de los motores de combustión interna, tanto teóricos como reales, explicando las diferencias entre ambos.
- Definir los rendimientos térmicos de los motores térmicos.

Los motores de combustión interna son capaces de transformar la energía térmica almacenada en un combustible en energía mecánica a través de diversas transformaciones termodinámicas que dan lugar a los ciclos de trabajo.

El estudio de los ciclos de trabajo es fundamental para comprender el funcionamiento de los motores de combustión interna y son la base para entender la necesidad de tener diversos sistemas auxiliares que perfeccionan su funcionamiento.

A lo largo de este capítulo se van a explicar los conceptos fundamentales de la termodinámica, necesarios para entender los ciclos de trabajo. Posteriormente se analizarán los ciclos teóricos y reales para cada tipo de motor, destacando las diferencias que existen entre ambos. Por último se formularán los rendimientos térmicos teóricos de los ciclos de trabajo.

2.1. Termodinámica y trabajo

2.1.1. Introducción a la termodinámica y sus principios

La termodinámica es la rama de la ciencia que estudia los procesos de cambio de energía en los que interviene el calor y trata de los efectos mecánicos debidos al mismo. Ese estudio comprende todos los posibles cambios energéticos que pueden encontrarse en el Universo, desde las reacciones que se dan en el Sol hasta las que se dan en una pila de reloj. Con lo cual, al estudiar un proceso particular, lo que se está estudiando es un sistema termodinámico.

Un sistema termodinámico es aquella fracción del Universo objeto de estudio. En este caso, el sistema termodinámico que se va a estudiar es un motor de combustión interna. El resto del Universo que no se estudia se llama entorno. La separación entre sistema y entorno puede tener unos límites reales (paredes del cilindro del motor) o imaginarios (distancia de miles de kilómetros cuando se estudia una porción de la atmósfera).

En función de los intercambios que se den entre sistema y entorno, los sistemas se clasifican en:

- **Abiertos:** pueden intercambiar materia y energía con el entorno, por ejemplo, un vaso de agua puede intercambiar energía al calentarse o enfriarse y también materia al poder evaporarse al exterior o condensarse del exterior.
- **Cerrados:** pueden intercambiar energía pero no materia con el entorno, es decir, el mismo vaso de agua cerrado no puede intercambiar materia pero sí energía, al poder calentarse o enfriarse.
- **Aislados:** no pueden intercambiar ni materia ni energía con el entorno y su realización práctica es casi imposible. Un posible ejemplo de este caso sería un recipiente con agua cuyas paredes estén muy bien aisladas de forma que no se pueda calentar ni enfriar.

La Figura 2.1 muestra esquemáticamente los diferentes tipos de sistemas.

El estado de un sistema se define como su composición, situación y energía en un momento determinado. Por tanto, para definir un estado, hay que conocer la composición química, concentración de los componentes y otras variables termodinámicas. En el estudio teórico de los motores de combustión interna, las variables termodinámicas más usuales van a ser la presión (P), el volumen (V) y la temperatura (T). Cuando el valor de una variable depende solo del estado del sistema y no de cómo se ha llegado a él se llama función de estado. Por ejemplo, la temperatura es una

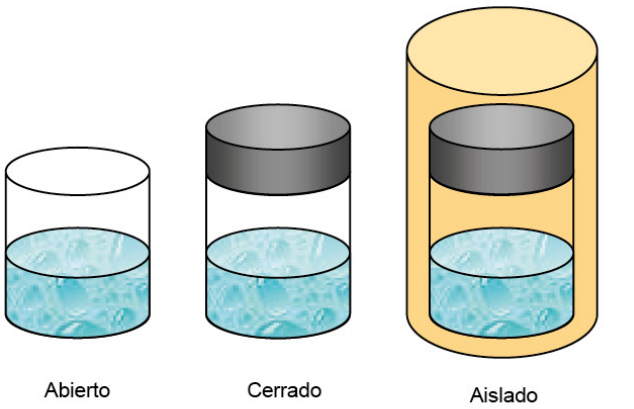


Figura 2.1. *Representación esquemática de un sistema abierto, cerrado y aislado.*

función de estado. Si se observa un vaso de agua que está a 25 °C y posteriormente llega a 45 °C, la diferencia entre ambos estados es siempre de 20 °C, sin importar el tiempo que ha tardado en alcanzar dicho estado, si ha sido una variación constante…

Un sistema se dice que está en equilibrio cuando a su vez se cumplen los siguientes tres equilibrios:

- **Equilibrio químico:** su composición química permanece constante en el tiempo.
- **Equilibrio mecánico:** no hay movimiento visible a nivel macroscópico, es decir, a nivel del ojo humano, aunque como es lógico hay movimiento de sus moléculas.
- **Equilibrio térmico:** la temperatura es la misma en cualquier punto del sistema.

En función del estado de equilibrio, las transformaciones termodinámicas pueden ser:

- **Reversibles:** cuando la transformación desde un estado inicial a otro final ha tenido lugar a través de una serie continua de estados de equilibrio. En un proceso reversible, se puede volver al estado inmediatamente anterior invirtiendo el proceso.
- **Irreversibles:** cuando una sustancia pasa de un estado inicial a otro final a través de una transformación donde en alguno o en todo momento el sistema no ha estado en equilibrio.

Para que un proceso sea reversible es necesario que el sistema esté siempre en equilibrio, siendo necesario que los cambios sean infinitamente lentos. Un ejemplo de transformación reversible sería la compresión de un gas dentro de un cilindro a través de un émbolo. Si se hace muy lentamente, se tiene en cada momento un equilibrio químico, al no darse ninguna reacción química que altere su composición, un equilibrio mecánico, porque no hay movimiento

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

La expansibilidad es la propiedad que tienen los gases de ocupar el mayor volumen posible.

Recuerda que...

El calor *Q* se mide en julios (J) o calorías (cal).

1 cal = 4,18 J

aparente, y un equilibrio térmico, ya que en principio al comprimir el gas aumenta la temperatura, pero en cada incremento de presión la variación es tan pequeña que el equilibrio térmico se alcanza de manera casi instantánea.

Un proceso termodinámico se dice que es espontáneo cuando tiene lugar sin intervención externa de ningún tipo. Un ejemplo claro, de aplicación directa en los motores de combustión interna, sería la expansión de un gas.

Los procesos espontáneos son irreversibles y la magnitud que mide la irreversibilidad de un proceso es la entropía. Si la entropía aumenta se dice que aumenta el desorden del sistema. Este concepto es fácilmente entendible si se imagina un recipiente con agua y posteriormente se calienta. Inicialmente las moléculas están más o menos ordenadas realizando movimientos lentos y chocando ligeramente unas con otras, pero al aplicar calor, estas empiezan a agitarse, moviéndose al azar, chocando violentamente unas con otras, aumentando el desorden y, por tanto, aumentando la entropía del sistema. Por otro lado, también es posible una disminución de entropía si el recipiente con agua se congela. Las moléculas, al pasar a estado sólido disminuyen su movimiento aumentando el orden del sistema. La entropía (*S*) de un sistema aumenta cuando absorbe calor (*Q*) del entorno y disminuye cuando cede calor al mismo, como muestra de manera simplificada la Figura 2.2.

Con los conceptos definidos hasta ahora, se pueden enunciar los principios de la termodinámica:

- **Primer principio de la termodinámica:** es el también llamado principio de conservación, y dice que la energía ni se crea ni se destruye, se transforma. Según este principio, se puede transformar calor en trabajo y viceversa, proceso necesario para construir un motor térmico.
- **Segundo principio de la termodinámica:** también se conoce como principio de degradación, y dice que no es posible transformar totalmente el calor en trabajo. Un motor térmico necesita trabajar entre dos focos caloríficos: un foco del que absorbe una cantidad de calor Q_2 y está a una temperatura T_2, y otro foco al que cede una cantidad de calor Q_1 y está a una temperatura inferior T_1. La Figura 2.3 muestra el esquema de este proceso. No es posible transformar todo el calor en trabajo ya que siempre es necesario ceder una parte del calor aportado al foco frío, con lo cual el rendimiento de la máquina térmica nunca será del 100 %.

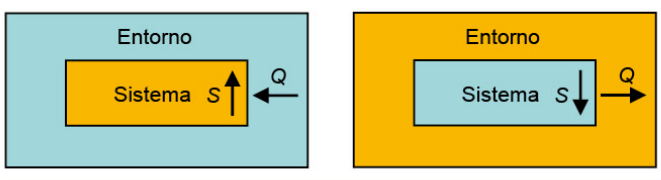


Figura 2.2. *Evolución de la entropía de un sistema (S) en función de si absorbe calor (Q) del entorno, o lo cede.*

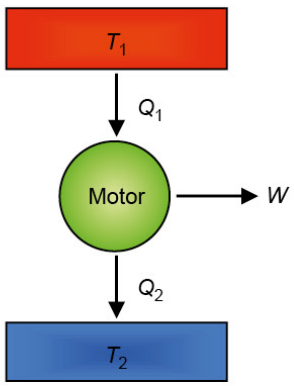


Figura 2.3. *Representación esquemática de un motor térmico.*

- **Tercer principio de la termodinámica:** este principio, menos conocido, fue enunciado por Max Plank y propone que la entropía de una sustancia cristalina perfecta es cero, en el cero absoluto de temperatura (0 °K). Como es sabido, el cero absoluto de temperatura (0 °K o −273,15 °C) es físicamente inalcanzable.

Según el primer y segundo principio de la termodinámica, se puede transformar calor en trabajo, aunque

Sabías que...

El primer principio solo afirma que en un proceso termodinámico tiene que haber una equivalencia entre las energías que intervienen en él, de forma que no haya ni pérdida ni creación de energía. Por ejemplo, si se calienta una barra de hierro con un soplete, el calor aportado por este tiene que ser igual a la suma del absorbido por la barra más el que absorbe el medio que la rodea, es decir, no significa que la barra de hierro absorba todo el calor.

© Ediciones Paraninfo

no es posible que todo el calor se transforme en trabajo. Este es el fundamento de un motor térmico. A continuación se va a explicar cómo es posible dicha transformación.

2.1.2. Transformación de calor en trabajo

En el apartado anterior se ha visto que, según el primer principio de la termodinámica, es posible transformar calor en trabajo. Ahora se va a explicar cómo es posible que se realice esa transformación físicamente. Si se supone un recipiente cerrado que contiene un gas y este se calienta, la presión en el interior de dicho recipiente aumentará. Esto se puede demostrar según la ecuación de los gases ideales:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Como el recipiente está cerrado, el volumen no varía y $V_1 = V_2 = V$. Al aumentar la temperatura, es decir $T_2 > T_1$, para que la igualdad se conserve, las presiones deben de variar, siendo $P_2 > P_1$. La Figura 2.4 representa este fenómeno.

Si ahora sustituimos una de las paredes del recipiente por un émbolo móvil, la presión actuando sobre el área de dicho émbolo generará una fuerza que lo desplazará, siempre y cuando la presión en el otro extremo del émbolo sea menor a la del interior del recipiente.

$$P = \frac{F}{A} \quad \Rightarrow \quad F = P \cdot A$$

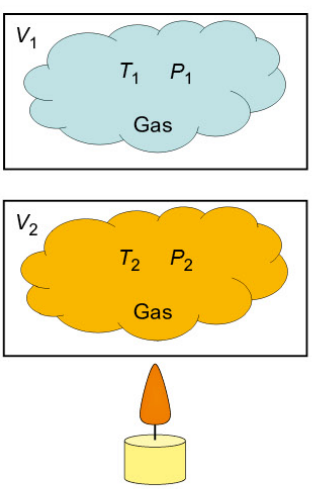


Figura 2.4. *Al aportar calor a un gas encerrado en un recipiente, como el volumen del mismo no varía, al aumentar la temperatura del gas también lo hace la presión.*

Recuerda que...

La fuerza se mide en newtons (N) y que 1 kg de masa equivalen a 9,8 N.

La presión puede medirse en pascales (Pa) y que 1 Pa equivale a $\frac{1\ \text{N}}{1\ \text{m}^2}$.

Donde:

P es la presión, expresada en $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.

F es la fuerza, en N.

A es el área, en m^2.

Si sobre el émbolo actúa una fuerza F y este se desplaza una distancia d, se habrá realizado un trabajo W, ya que el trabajo se define como:

$$W = F \cdot d$$

Donde:

W es el trabajo, expresado en $N \cdot$ m o bien julios (J).

F es la fuerza, en N.

d es la distancia, en m.

Con lo cual, se ha convertido el calor generado dentro del recipiente, en un trabajo de desplazamiento del émbolo, como muestra gráficamente la Figura 2.5. Es necesario repetir esta transformación en el tiempo, de manera cíclica,

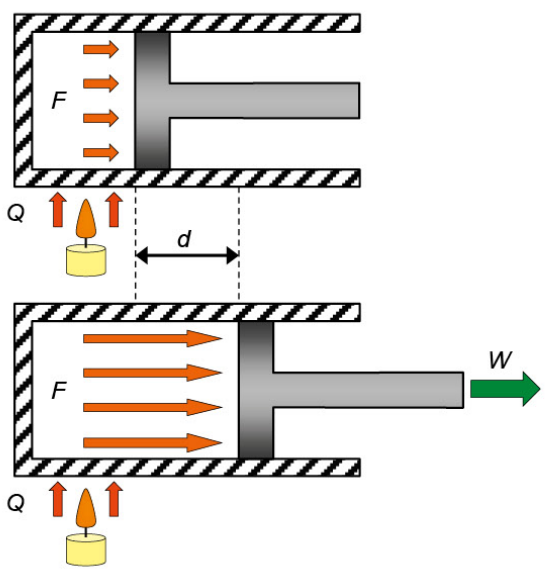


Figura 2.5. *Conversión de calor (Q) en trabajo (W).*

© Ediciones Paraninfo

para que el motor funcione de manera continua. Por ello, a continuación se va a explicar en qué consiste un ciclo térmico.

2.1.3. Transformaciones termodinámicas

Las máquinas térmicas, como el caso de los motores de combustión interna, evolucionan a través de una serie de transformaciones termodinámicas, que forman una línea cerrada llamada ciclo. Estas transformaciones, así como los ciclos termodinámicos que generan, se suelen representar en un diagrama presión-volumen o diagrama P-V.

Las transformaciones termodinámicas pueden ser:

- **Isócoras o a volumen constante (V = cte):** el sistema evoluciona sin variar su volumen.
- **Isóbaras o a presión constante (P = cte):** el sistema evoluciona sin variar la presión.
- **Isotérmicas o a temperatura constante (T = cte):** el sistema evoluciona sin variar la temperatura.
- **Adiabáticas o isentrópicas:** el sistema evoluciona sin intercambiar calor con el exterior. Al no haber intercambio de calor se supone que la entropía es constante y por tanto es una transformación también isentrópica.

En la Figura 2.6 aparecen representadas estas transformaciones en el diagrama P-V.

Las transformaciones isócoras, isóbaras e isotérmicas cumplen la ecuación de los gases ideales o ley de Boyle-Mariotte:

$$P \cdot V = R \cdot T$$

Siendo R la constante del gas.

En el diagrama P-V las transformaciones isotérmicas y adiabáticas tienen un aspecto parecido dadas sus expresiones matemáticas, pero son transformaciones diferentes:

$P \cdot V =$ cte es la expresión para una transformación isotérmica.

$P \cdot V^{\gamma} =$ cte es la expresión para una transformación adiabática, siendo γ el exponente adiabático, que toma valor 1,33 para los motores de gasolina (al considerarse triatómicos por comprimir mezcla de aire y gasolina) y 1,4 para los motores diésel (al considerarse biatómicos por comprimir aire).

Una transformación isotérmica mantiene la temperatura constante porque, suponiendo que se comprime un gas dentro de un cilindro, este se calienta según evoluciona dicha compresión, pero para mantener la temperatura constante es necesario intercambiar calor con el exterior. Sin embargo, las transformaciones adiabáticas, al no intercambiar calor con el exterior, aumentan su temperatura con respecto al inicio de la compresión. Una transformación isotérmica se podría dar en el caso de una compresión muy lenta del gas. Por otro lado, una transformación adiabática se da en una compresión rápida porque no hay tiempo para transferir calor al entorno.

2.1.4. El ciclo térmico

Como se ha explicado anteriormente, las transformaciones termodinámicas evolucionan a lo largo de una línea cerrada llamada ciclo. Para el estudio teórico de los motores de combustión interna, todas las transformaciones se consideran reversibles. Un ejemplo de ciclo de potencia reversible que trabaja entre dos focos caloríficos es el llamado ciclo de Carnot.

Para explicar un sistema que desarrolla el ciclo de Carnot hay que imaginar que se tiene un pistón que se desplaza sin rozamiento a lo largo de un cilindro, en cuyo interior se almacena una cierta cantidad de un determinado gas, como

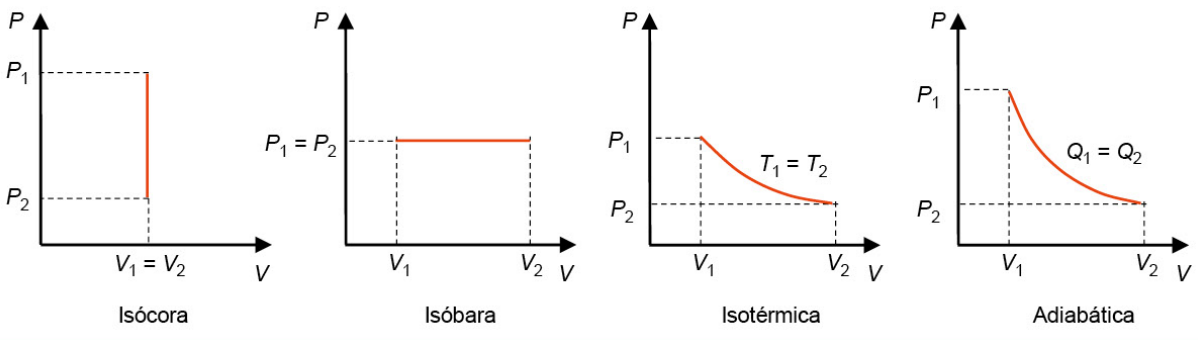


Figura 2.6. *Transformación isócora, isóbara, isotérmica y adiabática.*

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

En realidad, las transformaciones reales están a medio camino entre las isotérmicas y las adiabáticas y se llaman transformaciones politrópicas, cuya expresión es:

$$P \cdot V^n = \text{cte}$$

Siendo ahora n el exponente politrópico que toma valores entre 1 (caso de las isotérmicas) y γ (caso de las adiabáticas).

Con lo cual se deduce que las transformaciones isócoras, isóbaras, isotérmicas y adiabáticas son casos particulares de las politrópicas.

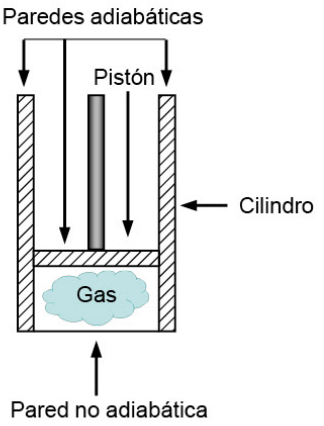


Figura 2.7. *Pistón que se desplaza a lo largo de un cilindro cuyas paredes pueden ser o no adiabáticas y que contiene una cierta cantidad de gas.*

muestra la Figura 2.7. Se considera que las superficies del pistón y del cilindro son paredes adiabáticas, es decir, no permiten transferir calor al exterior, salvo en los momentos en los que se aporta y se cede calor.

El ciclo térmico, secuenciado en la Figura 2.8, tiene lugar siguiendo los siguientes procesos:

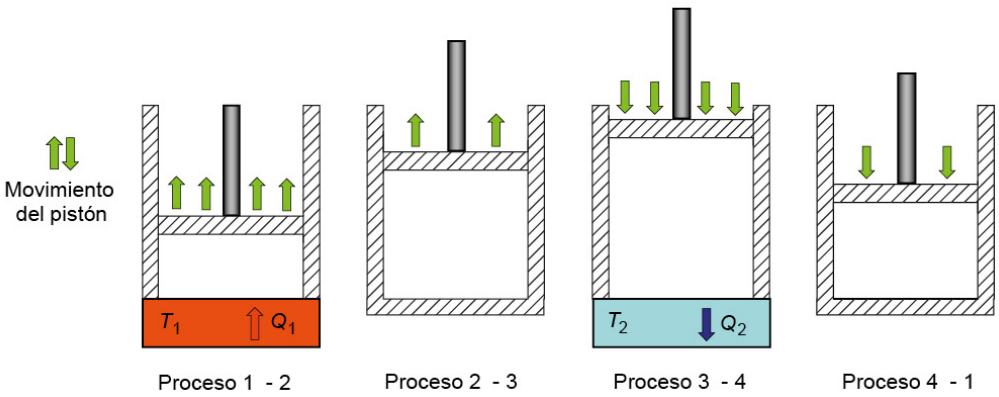


Figura 2.8. *Secuencia de procesos del ciclo de Carnot.*

Actividad resuelta 2.1

Rellena la siguiente tabla resumen del ciclo de Carnot.

Solución:

Resumen del ciclo de Carnot			
Proceso	Tipo de transformación	Aportación de calor Q_1	Cesión de calor Q_2
1-2	Expansión isotérmica	X	
2-3	Expansión adiabática		
3-4	Compresión isotérmica		X
4-1	Compresión adiabática		

© Ediciones Paraninfo

- **Proceso 1-2:** partiendo del pistón en su posición de reposo, se sitúa un foco térmico caliente que entrega una cantidad de calor Q_1 y que está a una temperatura T_1. En estas circunstancias, el gas experimenta una expansión isotérmica y el volumen del cilindro aumenta.
- **Proceso 2-3:** se retira el foco caliente y el gas continúa expandiéndose adiabáticamente, ya que el sistema está totalmente aislado del exterior.
- **Proceso 3-4:** ahora se coloca un foco térmico frío, que está a una temperatura T_2, inferior a T_1, que absorbe una cantidad de calor del sistema Q_2. Entonces el gas sufre una compresión isotérmica, con lo que disminuye el volumen del cilindro.
- **Proceso 4-1:** al retirar el foco frío del sistema, este se vuelve a aislar del exterior y el gas continúa comprimiéndose adiabáticamente hasta volver a alcanzar su estado inicial.

Estos cuatro procesos o transformaciones dan lugar a una línea cerrada llamada ciclo, como muestra la Figura 2.9. El área comprendida dentro del ciclo representa el trabajo realizado por la máquina térmica. Cuando las transformaciones se producen en el sentido de las agujas del reloj, se considera trabajo positivo, es decir, la máquina produce trabajo. Cuando las transformaciones se producen en sentido contrario a las agujas del reloj, se considera trabajo negativo y el trabajo hay que aportárselo a la máquina térmica, produciéndose un ciclo frigorífico típico de los sistemas de aire acondicionado o bombas de calor. Los diagramas genéricos de ambos tipos de máquinas térmicas son las representadas en la Figura 2.10.

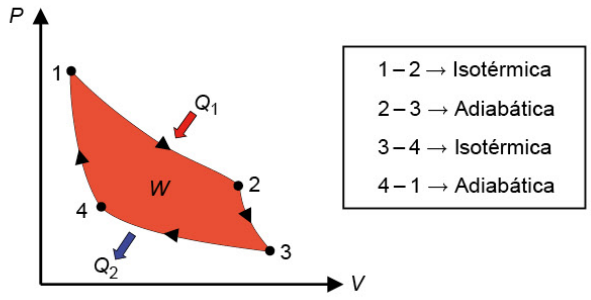


Figura 2.9. *Ciclo de potencia de Carnot.*

El rendimiento térmico del ciclo de Carnot se formula de la siguiente forma:

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Donde:

Q_1 es el calor aportado por el foco caliente.

Q_2 es el calor absorbido por el foco frío.

T_1 es la temperatura del foco caliente.

T_2 es la temperatura del foco frío.

Los rendimientos suelen expresarse en tanto por ciento, para ello basta multiplicar la expresión anterior por 100.

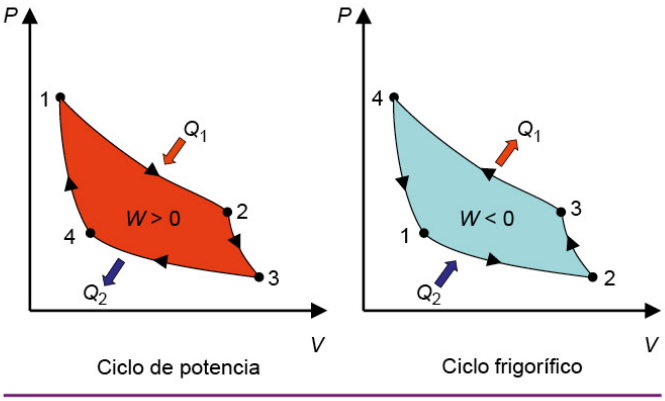


Figura 2.10. *Diagramas P-V para los ciclos de potencia y frigorífico o bomba de calor de Carnot realizado por un gas.*

Actividad resuelta 2.2

Calcular el rendimiento de Carnot de una máquina térmica que trabaja entre dos focos caloríficos Q_1 y Q_2, sabiendo que absorbe del foco caliente 8000 J y cede al foco frío 2000 J.

Solución:

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100 = \frac{8000 - 2000}{8000} \cdot 100$$

$$\eta_t = 75\ \%$$

Luego el rendimiento de Carnot será del 75 %.

© Ediciones Paraninfo

De la fórmula del rendimiento térmico puede deducirse que la máquina será más eficiente cuanto mayor sea el salto térmico entre los dos focos.

Es importante resaltar que el ciclo de Carnot es un ciclo ideal, ya que todas las transformaciones se consideran reversibles, con lo cual, el rendimiento útil de una máquina térmica nunca podrá ser superior al rendimiento de Carnot. El ciclo de Carnot es un ciclo termodinámico donde el fluido evoluciona para volver al mismo estado. Esto es imposible en un motor térmico de combustión interna, por lo que este realiza un ciclo de trabajo, que es una sucesión de procesos reales repetidos en el tiempo.

2.2. Ciclos teóricos de trabajo

2.2.1. Elementos constructivos básicos de un motor de combustión interna alternativo para poder realizar un ciclo de trabajo

Para iniciar el estudio teórico de un motor de combustión interna alternativo es necesario definir unos elementos constructivos básicos mínimos para que el ciclo sea posible. Dichos elementos, mostrados en la Figura 2.11, son:

- **Un cilindro (1):** que va a contener el fluido que sufrirá las transformaciones termodinámicas necesarias para realizar el ciclo. El volumen del cilindro va a variar a fin de comprimir y expandir dicho fluido.
- **Un pistón (2):** que comprimirá el fluido en su carrera ascendente y después será empujado por los gases tras la combustión, en su carrera descendente. El movimiento del pistón es lineal, alternativo y comprendido entre dos cotas del cilindro que son el punto muerto inferior (PMI) y el punto muerto superior (PMS).
- **Un mecanismo biela-manivela:** que convertirá el movimiento lineal del pistón en movimiento rotativo del cigüeñal, con la finalidad de obtener un par torsional o par motor. Este mecanismo consta de la biela (3), que une el pistón con la muñequilla del cigüeñal (4) y del brazo del cigüeñal (5), que une la muñequilla con el apoyo del mismo (6).
- **Un sistema que permita la admisión de los gases frescos y la salida de los gases quemados:** en el estudio teórico de los motores de cuatro tiempos se realizará mediante válvulas de admisión (7) y escape (8), y en el estudio de los motores de dos tiempos a través de lumbreras.

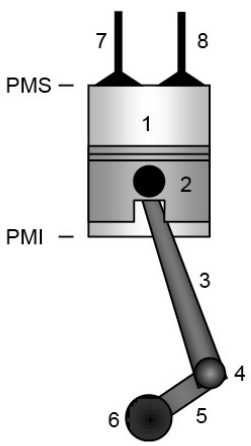


Figura 2.11. *Elementos constructivos básicos de un motor de combustión interna alternativo.*

2.2.2. Parámetros básicos de un motor de combustión interna alternativo para poder realizar un ciclo de trabajo

Antes de proceder al estudio de los ciclos teóricos resulta imprescindible definir una serie de parámetros básicos de los motores alternativos, siendo algunos de ellos los que se pueden apreciar en la Figura 2.12. Estos parámetros son:

- **Diámetro (*D*):** es el diámetro del cilindro, expresado en milímetros (mm).
- **Carrera (*S*):** es la distancia recorrida por el pistón, medida desde el PMS al PMI, en milímetros (mm).
- **Área del pistón (A_P):** es la sección del pistón, expresada en milímetros cuadrados (mm^2).

$$A_P = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \qquad A_P = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

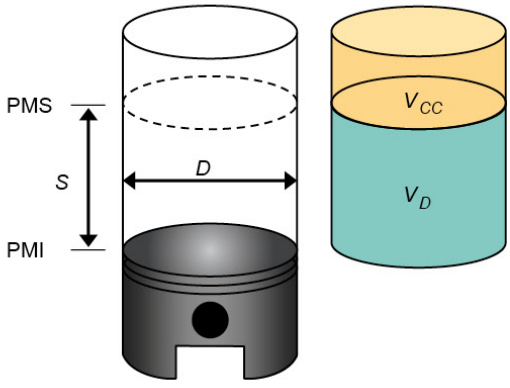


Figura 2.12. *Parámetros geométricos de los motores alternativos.*

© Ediciones Paraninfo

- **Volumen desplazado (V_D):** también conocido como volumen unitario o cilindrada unitaria. Es el volumen de un cilindro cuya base es el área del pistón (A_P) y su altura la carrera (S), expresado en centímetros cúbicos (cm^3), por lo que para calcularlo hay que convertir las unidades.

$$V_D = A_P \cdot S$$

$$V_D = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot S$$

- **Volumen de la cámara de combustión (V_{CC}):** es el volumen que queda disponible cuando el pistón está en el PMS, expresado en centímetros cúbicos (cm^3).
- **Relación de compresión (r):** es la relación entre el volumen disponible cuando el pistón está en el PMI y el disponible cuando está en el PMS. Al estar dividiendo cm^3 entre cm^3, no tiene unidades.

$$r = \frac{V_D + V_{CC}}{V_{CC}}$$

Actividad resuelta 2.3

Un motor de combustión interna alternativo tiene las siguientes características: diámetro $D = 79{,}5$ mm, carrera $S = 70$ mm, número de cilindros $z = 4$, volumen de la cámara de combustión $V_{CC} = 39{,}60$ cm^3. Calcular:

a) Volumen desplazado V_D.
b) Cilindrada total V_T.
c) Relación de compresión r.

Solución:

a) El volumen suele expresarse en cm^3, por lo que hay que pasar las unidades de mm a cm:

$D = 79{,}5$ mm $= 7{,}95$ cm $\qquad S = 70$ mm $= 7{,}00$ cm

$$V_D = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot S = \pi \cdot \frac{7{,}95^2\,[cm^2]}{4} \cdot 7{,}00\,[cm]$$

$$V_D = 347{,}47\ cm^3$$

b) El volumen total o cilindrada se calcula de la siguiente forma:

$$V_T = V_D \cdot z = 347{,}47\,[cm^3] \cdot 4$$

$$V_T = 1389{,}90\ cm^3$$

c) La relación de compresión será:

$$r = \frac{V_D + V_{CC}}{V_{CC}} = \frac{347{,}47 + 39{,}60}{39{,}60}$$

$$r = 9{,}77 : 1$$

Sabías que...

Si $D > S$ o $S/D < 1$ el motor se considera supercuadrado.

Si $D = S$ o $S/D = 1$ el motor se considera cuadrado.

Si $D < S$ o $S/D > 1$ el motor se considera alargado.

Nota: S/D se conoce como la relación carrera-diámetro.

Sabías que...

Una relación de compresión de 10:1 significa que el volumen se ha reducido 10 veces.

- **Número de cilindros (z):** es la cantidad de cilindros que tiene el motor.
- **Cilindrada total (V_T):** es el volumen desplazado en todos los cilindros del motor, expresado en centímetros cúbicos (cm^3).

$$V_T = V_D \cdot z$$

$$V_T = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot S \cdot z$$

Actividad resuelta 2.4

Un motor de combustión interna alternativo tiene un diámetro $D = 82{,}7$ mm, una carrera $S = 93$ mm y una relación de compresión $r = 11{:}1$. Calcular el volumen de la cámara de combustión V_{CC}.

Solución:

$D = 82{,}7$ mm $= 8{,}27$ cm $\qquad S = 93$ mm $= 9{,}3$ cm

$$V_D = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot S = \pi \cdot \frac{8{,}27^2\,[cm^2]}{4} \cdot 9{,}3\,[cm]$$

$$V_D = 499{,}56\ cm^3$$

$$r = \frac{V_D + V_{CC}}{V_{CC}} \Rightarrow r \cdot V_{CC} = V_D + V_{CC} \Rightarrow r \cdot V_{CC} - V_{CC} = V_D$$

$$\Rightarrow V_{CC}(r - 1) = V_D \Rightarrow V_{CC} = \frac{V_D}{r - 1}$$

$$V_{CC} = \frac{V_D}{r - 1} = \frac{499{,}56\,[cm^3]}{11 - 1}$$

$$V_{CC} = 49{,}96\ cm^3$$

Luego el volumen de la cámara de combustión es de $49{,}96$ cm^3.

© Ediciones Paraninfo

2.2.3. Ciclo teórico de un motor Otto de cuatro tiempos

Para iniciar el análisis de los motores térmicos hay que partir de los ciclos teóricos de trabajo. El estudio de los ciclos reales es complejo y por ello hay que hacer una serie de hipótesis que simplifiquen su estudio.

Un motor de cuatro tiempos realiza su ciclo de trabajo en cuatro carreras del pistón. Cada carrera es un movimiento del pistón del PMI al PMS o viceversa, por tanto, cada carrera es un tiempo. Los cuatro tiempos necesarios para hacer el ciclo son los siguientes:

- **Primer tiempo o fase de admisión (1-2):** en esta fase, el pistón parte del PMS y la válvula de admisión se abre completamente. Posteriormente, el pistón desciende hasta el PMI, momento en el que se cierra la válvula de admisión. Esta transformación se supone isóbara, es decir, a presión constante ($P_1 = P_2$). Esto es debido a que la presión de entrada del fluido de admisión es la atmosférica (P_a) y se conserva durante todo el proceso de admisión. Como puede verse en la Figura 2.13, el volumen aumenta, partiendo del de la cámara de combustión (V_{CC}), cuando el pistón está en el PMS, hasta llegar al PMI, donde se añade el volumen desplazado ($V_D + V_{CC}$). En este primer tiempo, el cigüeñal ha realizado un giro de 180° o media vuelta.

Sabías que...

Las hipótesis que facilitan el estudio teórico de los motores de combustión interna son las siguientes:

- No existen fugas del gas entre el pistón y las paredes del cilindro.
- La combustión es completa e instantánea.
- No hay pérdidas de calor.
- Todas las transformaciones son reversibles.

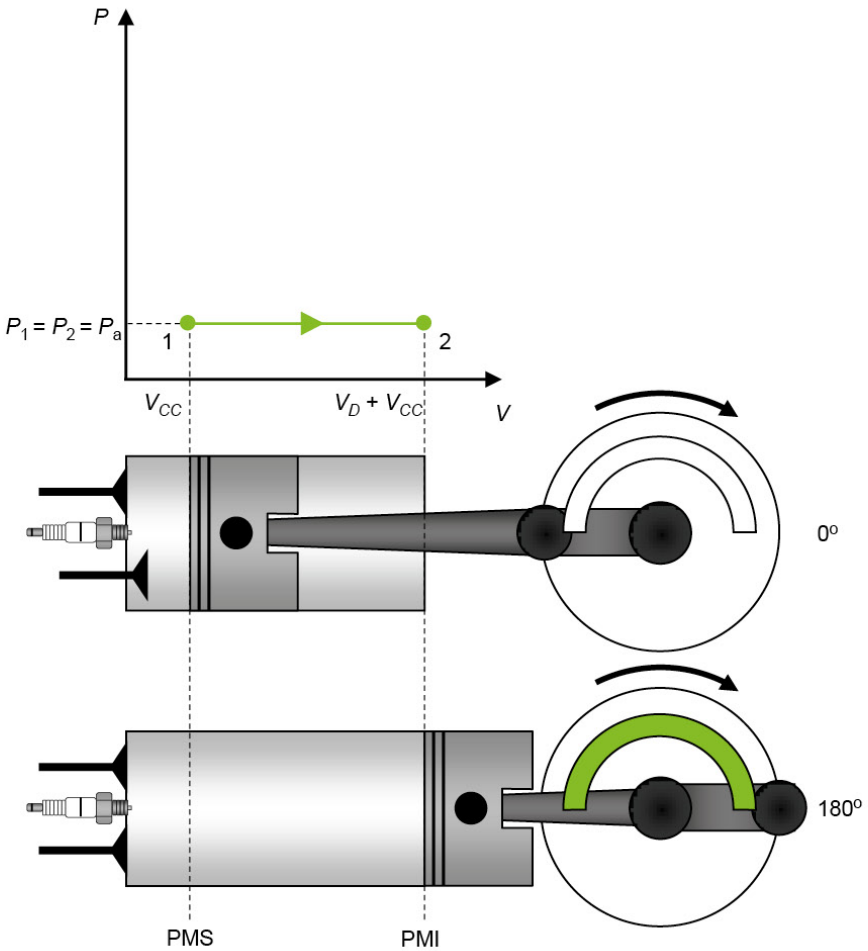


Figura 2.13. *Primer tiempo o fase de admisión.*

© Ediciones Paraninfo

- **Segundo tiempo o fase de compresión (2-3):** en este período, el pistón realiza una carrera ascendente desde el PMI al PMS, comprimiendo el fluido de admisión, ya que las válvulas de admisión y escape están cerradas. Al tratarse de una transformación ideal, es una compresión adiabática e isentrópica, porque se supone que no hay transferencia de calor. Como puede apreciarse en la Figura 2.14, el volumen disminuye hasta llegar a V_{CC} y la presión dentro del cilindro aumenta hasta alcanzar un valor P_3. El cigüeñal ha girado otros 180° en esta fase y lleva acumulados desde el inicio del ciclo 360°, es decir, una vuelta completa.
- **Tercer tiempo o fase de combustión y expansión (3-4-5):** cuando el pistón está en el PMS tiene lugar el salto de chispa de la bujía, que inflama la mezcla y se produce la combustión de la misma. Se supone que la combustión es instantánea y por ello el pistón no se mueve. Como consecuencia de esto no hay variación de volumen y la transformación en la fase de combustión es isócora (3-4). Lo que sí que varía es la presión, ya que la combustión de la mezcla lleva consigo un aumento considerable de la temperatura y, como el volumen no varía, la presión aumenta súbitamente hasta alcanzar un valor P_4. En la fase de combustión se produce la aportación de calor al fluido, Q_1. Tras la combustión tiene lugar la expansión de los gases quemados, donde el pistón es empujado por estos últimos desde el PMS hasta el PMI en su carrera descendente (4-5). La expansión implica un aumento del volumen, de V_{CC} a $V_D + V_{CC}$, y un descenso de la presión, de P_4 a P_5, según la Figura 2.15. Al final de este tiempo el cigüeñal ha girado un total de 540°.

Sabías que...

La fase de expansión es la única que entrega trabajo, en la admisión, la compresión y el escape hay que aportar trabajo al motor para que puedan realizarse.

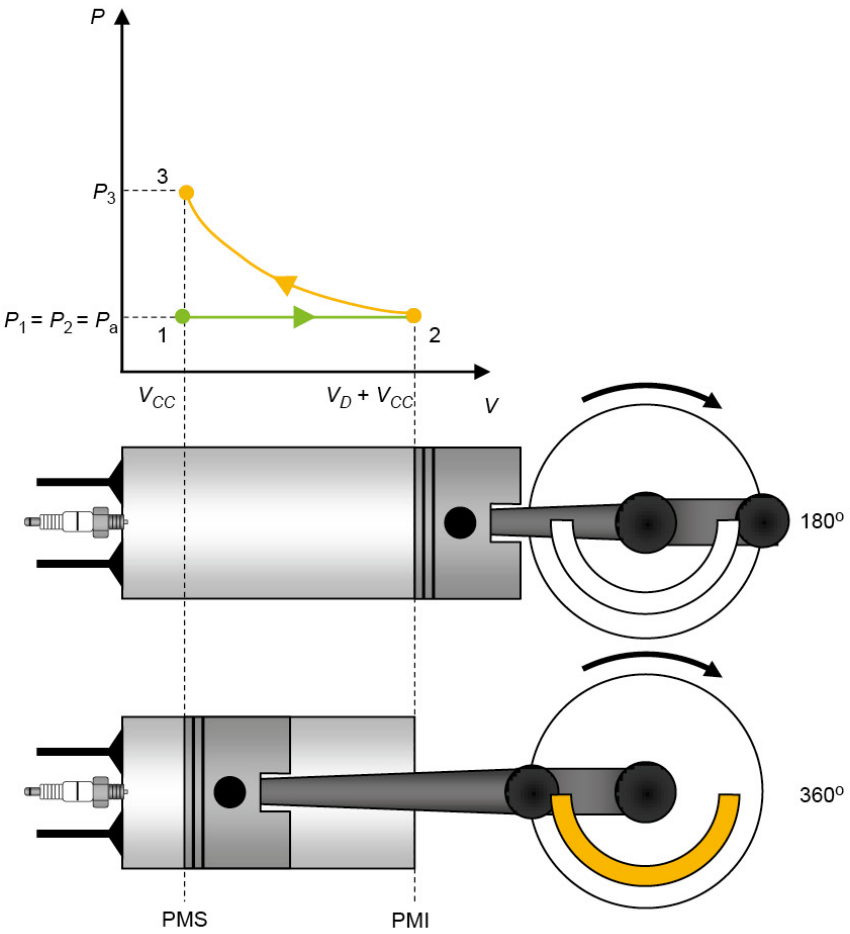


Figura 2.14. *Segundo tiempo o fase de compresión.*

© Ediciones Paraninfo

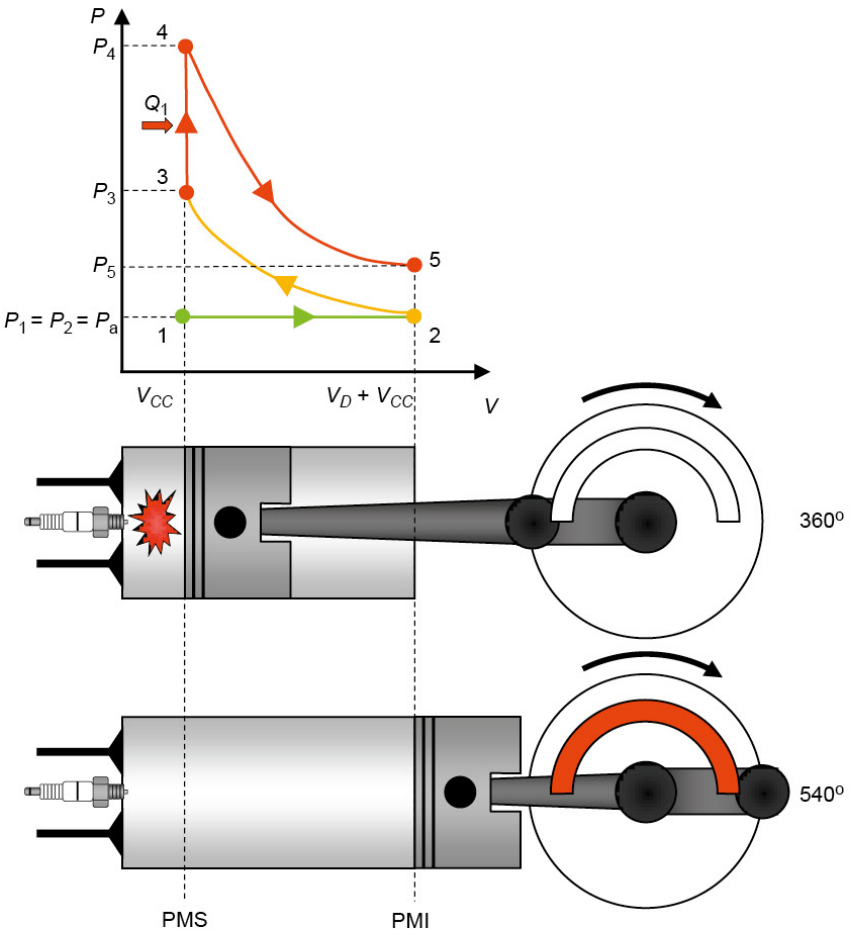


Figura 2.15. *Tercer tiempo o fase de combustión y expansión.*

- **Cuarto tiempo o fase de escape (5-2-1):** el proceso de escape tiene lugar en dos partes, como se puede observar en la Figura 2.16. La primera se produce cuando el pistón está en el PMI y abre la válvula de escape (5-2). Como es un sistema ideal, en el momento de apertura de la válvula de escape se comunica el cilindro con la atmósfera exterior del motor, y la presión en el interior del cilindro debida a los gases residuales, P_5, pasa a ser de forma instantánea la presión atmosférica, P_2. Con lo cual, esta primera etapa de la fase de escape es una transformación isócora, al no haber variación de volumen porque el pistón no se ha movido del PMI. Además, durante esta primera transformación, se produce la cesión de calor del fluido al exterior, Q_2. La segunda parte del proceso de escape tiene lugar durante la carrera ascendente del pistón del PMI al PMS (2-1). La válvula de escape sigue abierta hasta que el pistón llega al PMS, momento en el cual se cierra. Durante todo el recorrido del pistón se produce el barrido de los gases quemados, que son expulsados al exterior a una presión igual a la atmosférica, por lo que esta transformación tiene lugar a presión constante y es isóbara. Al final del tiempo de escape el cigüeñal ha girado 720° en total desde el inicio del ciclo, es decir, para realizar el ciclo completo necesita 2 vueltas.

Después del tiempo de escape, el ciclo se repite sucesivamente mientras el motor esté en marcha, siendo el ciclo completo el representado en la Figura 2.17.

2.2.4. Ciclo teórico de un motor diésel de cuatro tiempos

El ciclo teórico de un motor diésel de cuatro tiempos es básicamente el mismo que el de un motor Otto, a diferencia de los siguientes puntos:

- Durante la fase de admisión, el motor solo admite aire.
- Dado que su relación de compresión es mayor, las presiones y temperaturas al final de las fases de compresión y combustión serán mayores.
- La fase de combustión es diferente.

© Ediciones Paraninfo

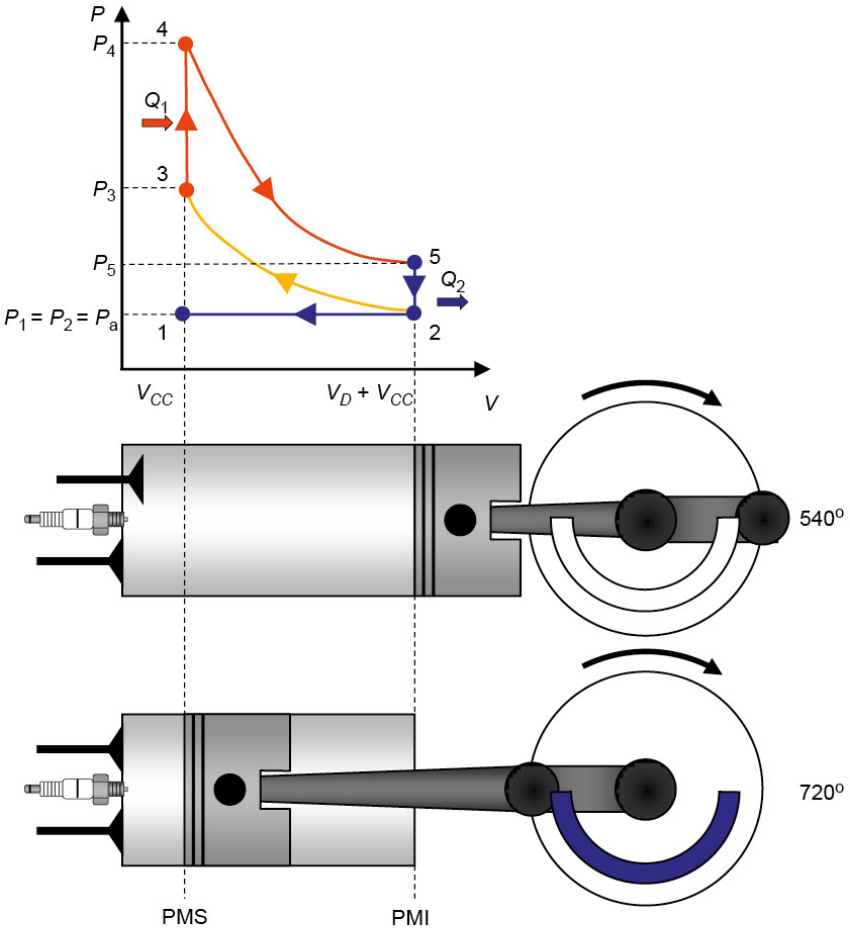


Figura 2.16. *Cuarto tiempo o fase de escape.*

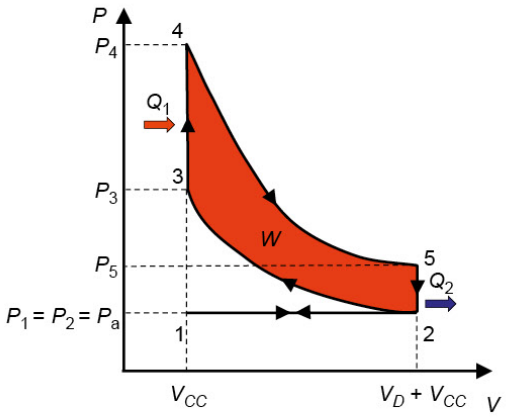


Figura 2.17. *Ciclo completo de un motor de cuatro tiempos de ciclo Otto.*

Atendiendo a la fase de combustión, se pueden distinguir dos diagramas teóricos. El primero está más próximo al funcionamiento de los motores diésel lentos, aunque es un ciclo ideal, y desarrolla la fase de combustión a presión constante. El segundo es un ciclo teórico que se aproxima más al funcionamiento de los motores diésel rápidos empleados en automoción y su fase de combustión evoluciona en dos partes, una primera a volumen constante y una segunda a presión constante. Este último ciclo, conocido también como ciclo mixto o semi diésel, se considera también ideal.

Los cuatro tiempos necesarios para hacer el ciclo diésel lento teórico de cuatro tiempos con la fase de combustión a presión constante son los siguientes:

- **Primer tiempo o fase de admisión (1-2):** el desarrollo de este tiempo tiene lugar de la misma forma que en los motores de encendido provocado, salvo que solo se admite aire en lugar de mezcla de combustible y aire.
- **Segundo tiempo o fase de compresión (2-3):** al igual que en los motores de gasolina convencionales, esta transformación se considera adiabática, isentrópica y reversible, pero ahora se comprime únicamente aire y la relación de compresión es mayor. La idea de tener una

© Ediciones Paraninfo

relación de compresión elevada es que al final de esta fase, el aire tenga una elevada presión y temperatura, que permita la autoinflamación del combustible cuando entre en contacto con él al ser inyectado.

- **Tercer tiempo o fase de combustión y expansión (3-4-5):** es en este momento donde se encuentra la mayor diferencia de funcionamiento con un motor de ciclo Otto, como se puede ver en la Figura 2.18. Una vez el pistón ha llegado al PMS al final de la carrera de compresión, el aire está a una temperatura muy alta (por encima de los 500 °C) y justo en ese momento comienza la inyección del combustible. Dada la atmósfera creada al final de la compresión, el combustible se autoinflama en contacto con el aire en esas condiciones, pero la inyección no acaba ahí, sino que se sigue inyectando combustible durante un periodo de la carrera de expansión, con lo cual, tanto la inyección de combustible como la combustión del mismo continúan durante parte de la expansión, produciéndose durante esta etapa la aportación de calor Q_1. Pero la combustión (3-4) se supone a presión constante, y esto es debido a que en el inicio de la inyección, al ser un ciclo ideal, comienza

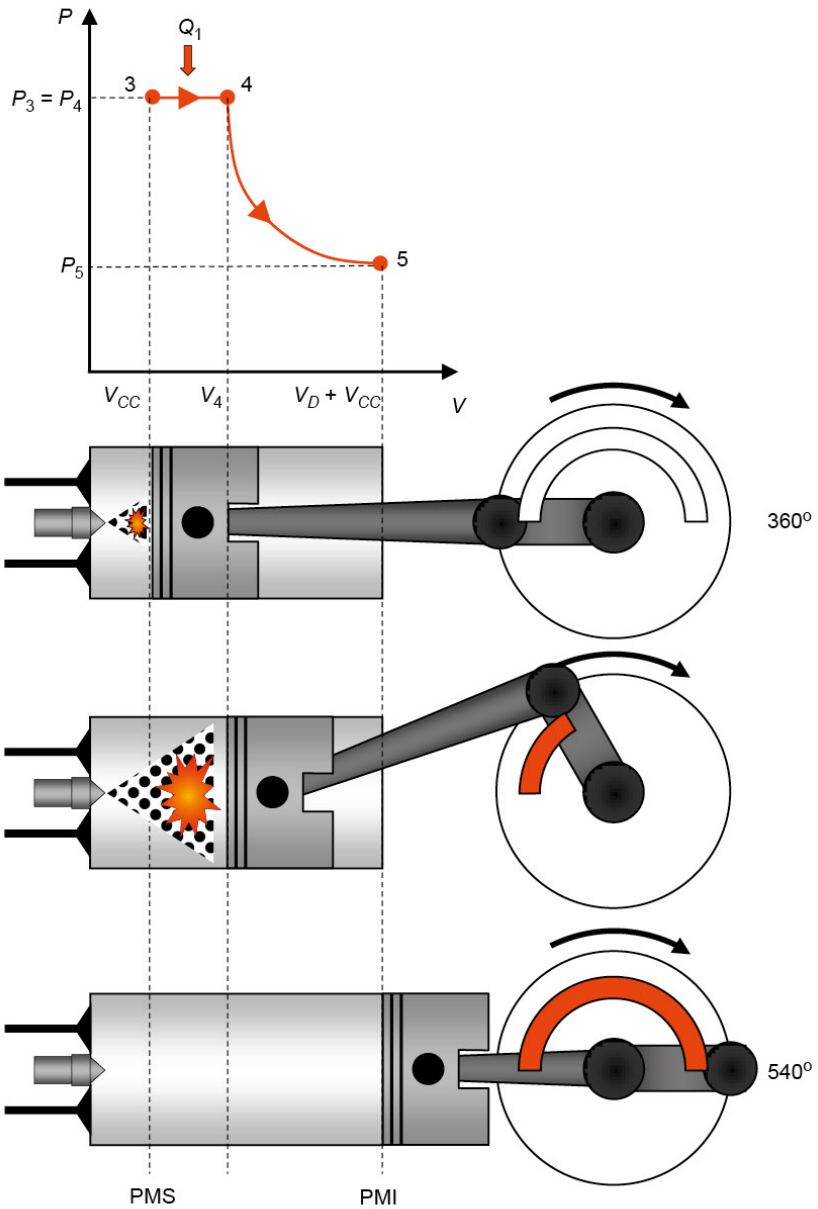


Figura 2.18. *Tercer tiempo o fase de combustión y expansión en el ciclo teórico de un motor diésel lento.*

© Ediciones Paraninfo

instantáneamente la combustión, estando el pistón en el PMS. En ese momento, se tiene una temperatura del gas T_3 debida al inicio de la combustión, en un volumen V_3, que coincide con el de la cámara de combustión, generándose una presión P_3. Pero el pistón empieza a descender y se sigue inyectando combustible, continuando la combustión, por lo que la temperatura del gas T_4 aumenta, como lo hace también el volumen del cilindro V_4, porque el pistón desciende. En estas condiciones ideales, la presión en ese punto, P_4, debe ser constante e igual a P_3, como se puede demostrar según la ecuación de los gases ideales:

$$P \cdot V = R \cdot T \quad \Rightarrow \quad \frac{P \cdot V}{T} = R = \text{cte}; \quad \frac{P_3 \cdot V_3}{T_3} = \frac{P_4 \cdot V_4}{T_4}$$

En condiciones ideales, la igualdad anterior se cumple porque $V_4 > V_3$ y $T_4 > T_3$. Si la temperatura y el volumen aumentan en la misma proporción, entonces:

$$\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_4}{T_4} = k = \text{cte} \qquad \begin{matrix} P_3 \cdot k = P_4 \cdot k \\ P_3 = P_4 = \text{cte} \end{matrix}$$

Una vez finalizada la inyección y la combustión comienza la fase de expansión adiabática, isentrópica y reversible (4-5), hasta que el pistón llega al PMI. Al igual que en los motores de encendido provocado, el tiempo de combustión-expansión es el único donde el motor entrega trabajo.

- **Cuarto tiempo o fase de escape (5-2-1):** el proceso de escape ocurre de la misma manera que en los motores de gasolina.

Tras tiempo de escape se repite el ciclo, siendo este el representado en la Figura 2.19.

El ciclo teórico que describe el funcionamiento de un motor diésel rápido, llamado mixto o semi diésel, se desarrolla de la misma forma que el anterior a diferencia de la fase de combustión. En los motores diésel rápidos, al haber muy poco tiempo para que se produzca la mezcla dentro del cilindro y posteriormente iniciar la combustión, es necesario realizar un cierto avance del inicio de la inyección, comenzando esta mientras el pistón aún está en la fase de compresión. El objetivo es que la combustión se inicie justo cuando el pistón está en el PMS, a fin de aprovechar al máximo la energía de los gases quemados. Este avance se hace porque de antemano se sabe que la combustión no empieza de manera instantánea, sino que existe un tiempo de retraso. El tiempo de retraso es el tiempo que transcurre desde que se inicia la inyección hasta que se inicia la combustión. Como consecuencia del tiempo de retraso y de la forma de evolucionar la inyección y la combustión en un motor diésel, se tienen dos fases de combustión:

- **Combustión a volumen constante (3-3′):** durante el tiempo de retraso, se acumula una cierta cantidad de combustible sin quemar. Cuando se inicia la combustión, se quema el combustible inyectado durante el tiempo de retraso, haciéndolo bruscamente aumentando la presión de P_3 a $P_{3'}$, como se observa en la Figura 2.20, mientras el pistón está en el PMS y, por tanto, a volumen constante, consiguiéndose una presión elevada.
- **Combustión a presión constante (3′-4):** esta fase se produce de la misma forma que en el caso de un diésel lento teórico. Cuando se inicia la combustión, sigue habiendo inyección de combustible hasta un determinado punto de la carrera de expansión, coexistiendo inyección y combustión, manteniendo una presión constante.

El ciclo completo de este tipo de motores es el representado en la Figura 2.21.

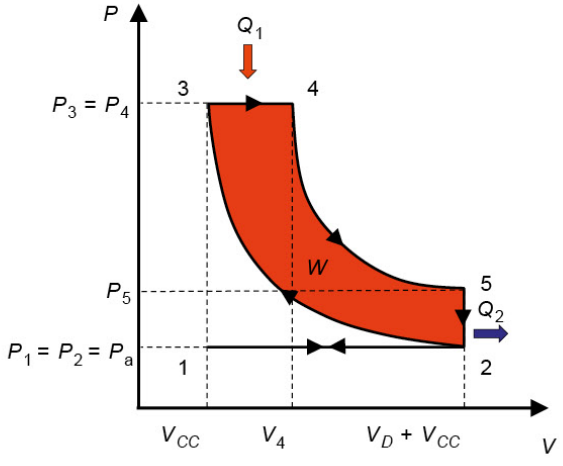


Figura 2.19. *Ciclo completo de un motor de cuatro tiempos de ciclo diésel.*

2.2.5. Ciclo teórico de un motor Otto de dos tiempos

El ciclo de trabajo de un motor de dos tiempos de gasolina se realiza en una vuelta de cigüeñal, es decir, en dos carreras del pistón. A continuación se va a explicar el ciclo teórico de un motor de dos tiempos de ciclo Otto convencional, por ser el más extendido.

La renovación de la carga, en general, no se lleva a cabo mediante válvulas de admisión y escape, sino que el pistón es el que controla la entrada y salida de gases tapando o descubriendo las lumbreras, prescindiendo del sistema de distribución. Hay tres tipos de lumbreras: de admisión al cárter, de transferencia y de escape.

Los tiempos que generan el ciclo teórico de este tipo de motores son:

© Ediciones Paraninfo

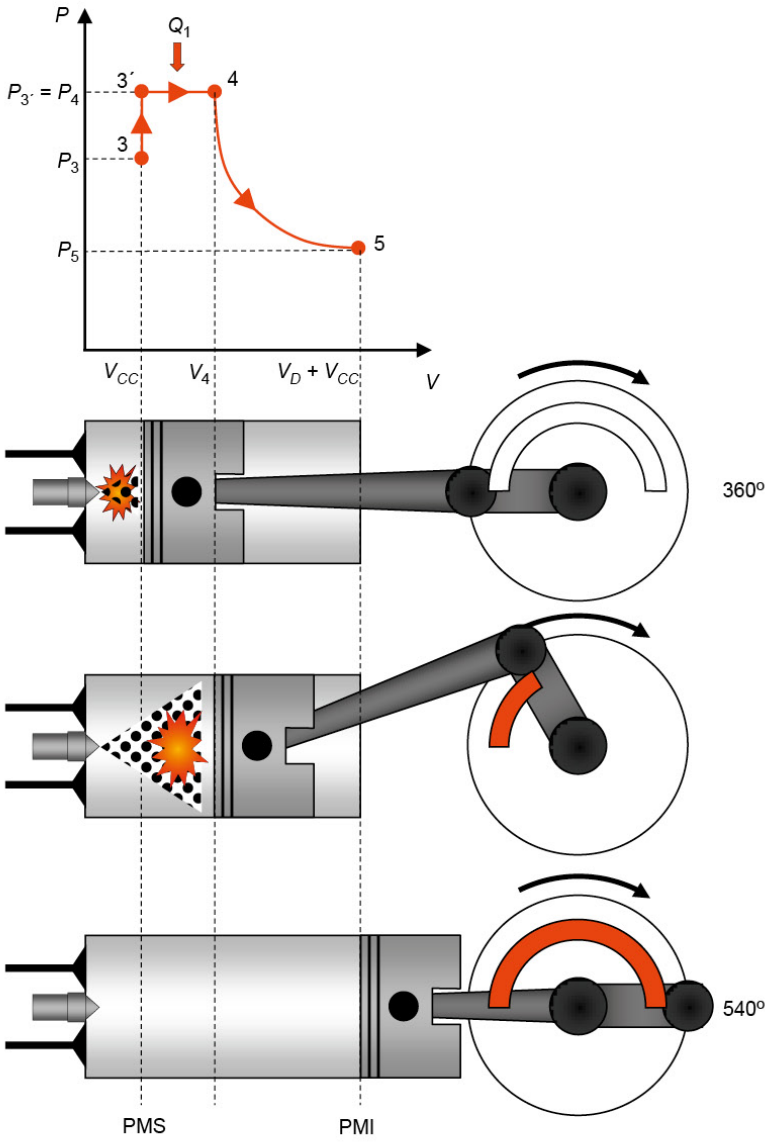


Figura 2.20. *Fase de combustión y expansión en el ciclo teórico de un motor diésel rápido.*

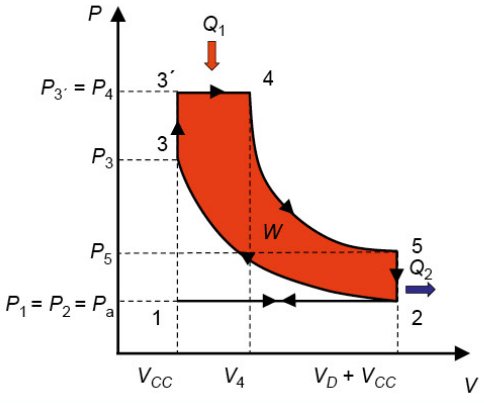


Figura 2.21. *Ciclo completo de un motor de cuatro tiempos de ciclo diésel rápido.*

- **Primer tiempo o fases de admisión al cárter-compresión-explosión (1-2-3-4):** siguiendo la Figura 2.22, el pistón parte del PMI y desarrolla este tiempo durante su carrera ascendente hasta el PMS. Mientras al pistón mantiene descubierta la lumbrera de transferencia (LT), se produce la admisión de mezcla al cilindro (1-2), considerándose este proceso a presión constante y tomando como valor la presión atmosférica. Cuando el pistón sube, al cerrar la lumbrera de transferencia con su parte superior, el cárter queda herméticamente cerrado, pero su volumen aumenta porque se le suma el que va descubriendo el pistón por su parte inferior según asciende por el cilindro. Esto provoca que en el cárter se genere una cierta depresión. En un determinado punto de esta

© Ediciones Paraninfo

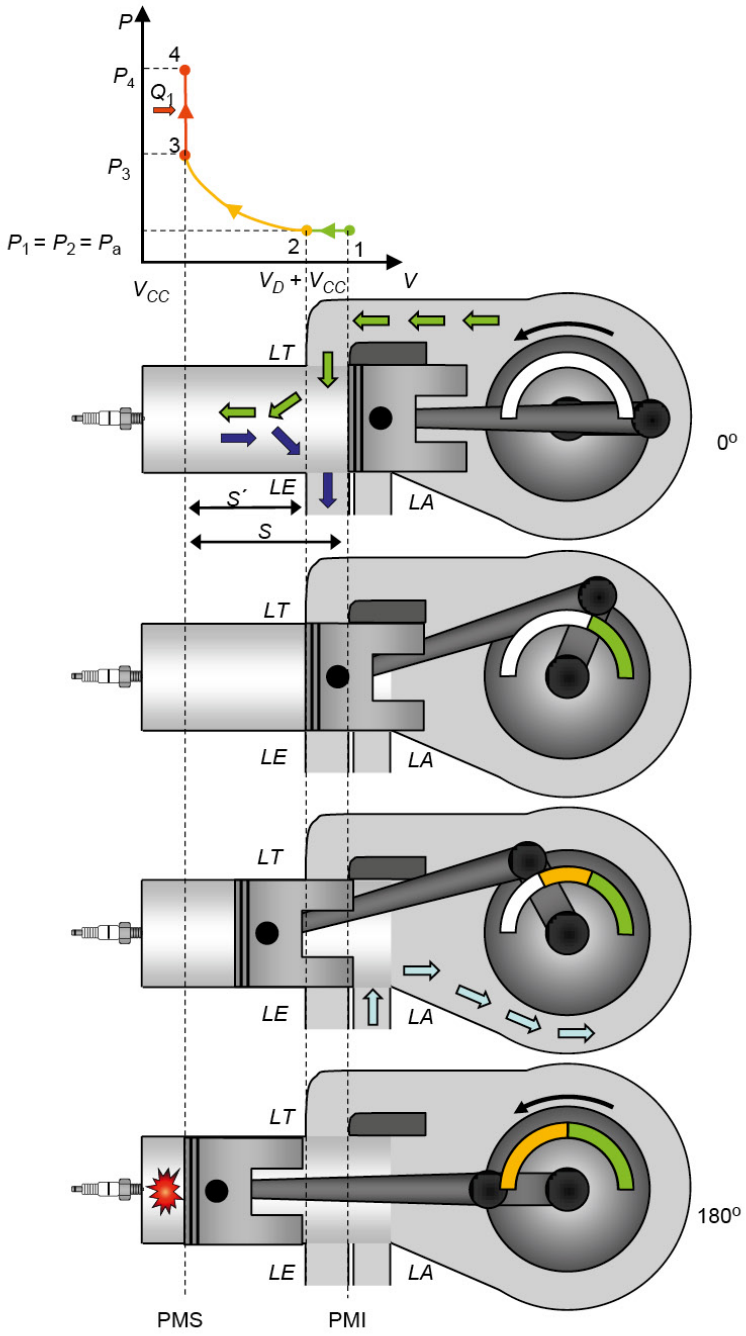


Figura 2.22. *Primer tiempo o fases de admisión al cárter-compresión-explosión en un motor de dos tiempos de ciclo Otto.*

carrera, la parte inferior del pistón descubre la lumbrera de admisión al cárter (LA) y como la presión exterior es superior a la que hay en el interior, la mezcla entra al cárter. Esta nube de mezcla queda preparada para ascender por la lumbrera de transferencia y entrar en el cilindro en el siguiente tiempo. Mientras tanto, la cabeza del pistón comprime la mezcla que ha entrado al cilindro por la lumbrera de transferencia durante la fase de admisión al cilindro (1-2), que se supone a presión constante. El pistón asciende y hay un periodo de tiempo en el que la lumbrera de transferencia y la lumbrera de escape (LE) permanecen abiertas, produciéndose el barrido de los gases quemados hacia el escape, es decir, los gases frescos ayudan a expulsar a los quemados. En el último tramo de la carrera, todas las lumbreras permanecen cerradas, siendo aquí donde se produce la compresión útil, al no

© Ediciones Paraninfo

poder escapar el fluido del cilindro. Este tramo se conoce como carrera útil (S') y permite definir la relación de compresión efectiva (r') en un motor de dos tiempos:

$$V'_D = A_P \cdot S'$$

$$r' = \frac{V'_D + V_{CC}}{V_{CC}}$$

Por tanto, el pistón comprime la mezcla (2-3) de forma adiabática, isentrópica y reversible hasta llegar al PMS, momento en el que se produce la explosión (3-4), fase de aportación de calor (Q_1), donde aumenta la presión y permanece el volumen constante porque se supone que el pistón no se mueve del PMS durante este periodo. Al finalizar este proceso, el cigüeñal ha girado 180°, es decir, media vuelta.

- **Segundo tiempo o fases de expansión-precompresión al cárter-escape-transferencia (4-5-2-1):** observando la Figura 2.23, este tiempo comienza cuando el pistón está

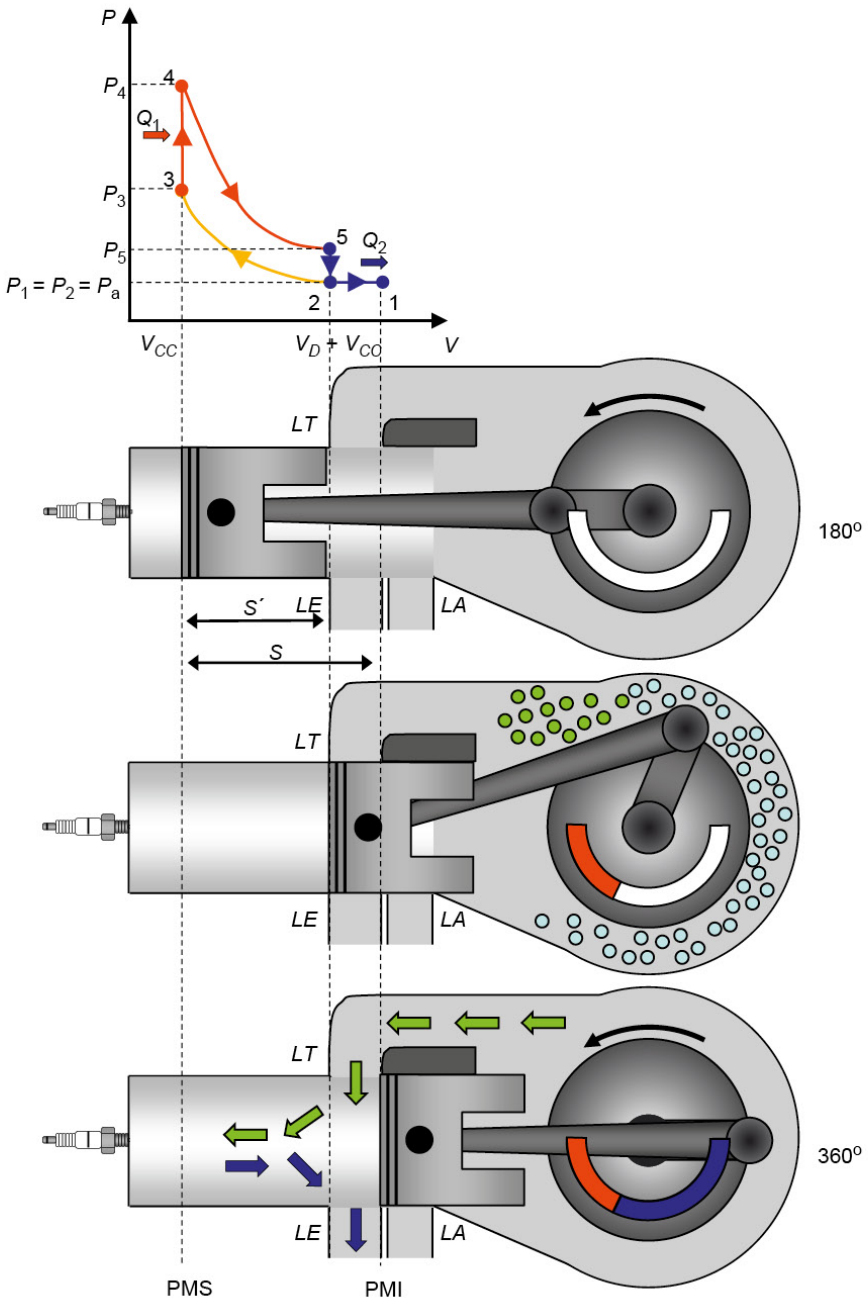


Figura 2.23. *Segundo tiempo o fases de expansión-precompresión al cárter-escape-transferencia en un motor de dos tiempos de ciclo Otto.*

© Ediciones Paraninfo

Recuerda que...

El ciclo de trabajo teórico de un motor de dos tiempos de ciclo Otto tiene las siguientes fases:

- 1-2: admisión isóbara de mezcla al cilindro por la lumbrera de transferencia (LT) y barrido de los gases quemados.
- 2-3: compresión adiabática e isentrópica de la mezcla y admisión al cárter de mezcla por la lumbrera de admisión al cárter (LA).
- 3-4: explosión isócora de la mezcla, produciéndose la aportación de calor al ciclo.
- 4-5: expansión adiabática e isentrópica que genera trabajo. Al mismo tiempo se produce la precompresión de la mezcla en el cárter y transporte de la misma al cilindro a través de la lumbrera de transferencia (LT).
- 5-2: expulsión isócora de los gases quemados por la lumbrera de escape (LE), produciéndose la cesión de calor al exterior.
- 2-1: barrido de los gases quemados de forma isóbara.

en el PMS y acaba cuando llega al PMI. Tras la explosión de la mezcla, se produce la expansión (4-5), adiabática, isentrópica y reversible, generando trabajo. Cuando el pistón desciende y obtura todas las lumbreras por su parte inferior, el cárter vuelve a estar herméticamente cerrado, disminuyendo ahora su volumen, y, por tanto, aumentando la presión en él, precomprimiendo la mezcla admitida del exterior. El pistón sigue descendiendo y la primera lumbrera que descubre por su parte superior es la de escape, comunicando el cilindro con el exterior y cediendo calor (Q_2) a este. Se iguala la presión interior con la atmosférica de manera instantánea, sin desplazamiento del pistón y a volumen constante (5-2), por tratarse de un ciclo ideal. Tras seguir descendiendo, el pistón destapa ahora la lumbrera de transferencia, comunicando el cárter con el cilindro. Como la mezcla está comprimida en el cárter y el cilindro se supone a presión atmosférica, por diferencia de presiones la mezcla se trasvasa del cárter al cilindro a través de la lumbrera de transferencia, dando lugar al llenado. En este periodo de transferencia se produce el barrido de los gases quemados, siendo empujados por la mezcla fresca hacia la lumbrera de escape (2-1). Este proceso se supone isóbaro, tomando como valor la presión atmosférica. Una vez finalizada esta fase, el cigüeñal ha girado 360°, es decir, una vuelta desde el comienzo del ciclo, el cual se repite continuamente mientras el motor esté en funcionamiento.

El ciclo teórico completo de un motor Otto de dos tiempos es el que se puede observar en la Figura 2.24.

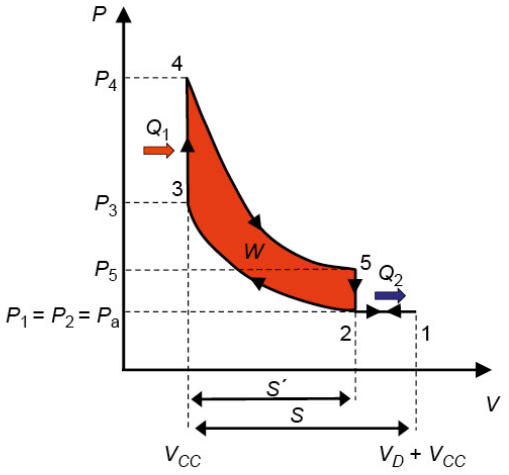


Figura 2.24. *Ciclo teórico completo de un motor Otto de dos tiempos.*

2.3. Ciclos reales de trabajo

2.3.1. Ciclo real de un motor Otto de cuatro tiempos

Los ciclos teóricos describen el funcionamiento del motor en unas condiciones ideales, pero las transformaciones termodinámicas que se producen en la realidad no evolucionan como lo harían en esas condiciones.

Tomando como referencia la Figura 2.25, a continuación se va a explicar cómo se producen los cuatro tiempos de un motor Otto en el diagrama P-V real:

- **Primer tiempo o fase de admisión (1-2):** en realidad, esta fase no se produce a presión constante debido a la restricción que ofrece al paso del fluido la válvula de

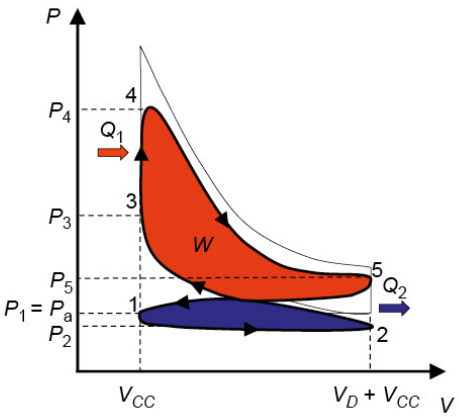


Figura 2.25. *Ciclo real de un motor Otto de cuatro tiempos.*

© Ediciones Paraninfo

admisión. Como la sección de paso de la válvula es menor que la del cilindro, a medida que el pistón desciende se provoca una depresión que hace que al final de la fase de admisión la presión interior del cilindro sea menor que la atmosférica.

- **Segundo tiempo o fase de compresión (2-3):** dado que esta fase se produce con gran rapidez, hay muy poco tiempo disponible para que se pueda transferir calor al exterior, con lo que la compresión se puede considerar prácticamente adiabática y reversible. Además, si el motor está en buen estado, las fugas de gases entre el pistón y las paredes del cilindro pueden despreciarse. Como al final del tiempo de admisión se alcanza una presión inferior a la atmosférica, la compresión parte de una presión menor a la teórica y, por tanto, la presión máxima al final de esta fase también será menor que la teórica.
- **Tercer tiempo o fase de combustión y expansión (3-4-5):** la fase de combustión no se produce a volumen constante por tres motivos fundamentales:
  - **Es progresiva:** la combustión no se inicia instantáneamente y tampoco lo hace justo cuando el pistón está en el PMS, por lo que se producen las denominadas pérdidas de tiempo, que disminuyen notablemente el rendimiento. Además la velocidad del frente de llama una vez iniciada la combustión es más o menos igual a la velocidad de desplazamiento del pistón, dificultando el completar la combustión rápidamente.
  - **Es incompleta:** la mezcla no es totalmente homogénea y como las paredes del cilindro están a una temperatura más baja, tiende a condensarse combustible que no va a ser quemado. Además, dada la rapidez del proceso de combustión, el alcanzar el equilibrio químico resulta prácticamente imposible.
  - **Hay pérdidas de calor:** dada la necesidad de refrigerar el motor, va a haber cierta transferencia de calor al sistema de refrigeración, provocando que disminuya la temperatura máxima alcanzable. También, durante el proceso de combustión se producen otras reacciones químicas que dan lugar a productos como CO, CO_2, H_2, O_2… y, como es sabido, muchas de estas reacciones absorben calor para que puedan darse, contribuyendo a la disminución de la temperatura de combustión y, con ello, a una pérdida de rendimiento térmico.

  Por estos motivos, sumados a que la combustión parte de una presión inferior a la teórica al final de la compresión, la presión máxima de combustión es inferior a la que se tendría en el ciclo teórico ideal.

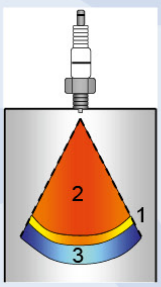
  Durante la fase de expansión se producen pérdidas de calor importantes a través de las paredes del cilindro, por lo que se aleja del comportamiento adiabático ideal.
- **Cuarto tiempo o fase de escape (5-2-1):** el escape, al igual que en el ciclo teórico, se produce en dos partes. La primera (5-2) consiste en la comunicación del cilindro con el exterior en el momento de apertura de la válvula de escape. En el ciclo real no se produce a volumen constante, ya que esta igualación de presiones es progresiva, implicando una variación de volumen al estar el pistón en movimiento. La segunda parte (2-1) tampoco se produce de manera isóbara, sino que el pistón barre los gases residuales y estos han de salir por la válvula de escape, que ofrece una restricción a su paso, con lo que se producirá una cierta sobrepresión en el interior del cilindro alejando esta transformación de su comportamiento teórico a presión constante.

Como consecuencia de las transformaciones reales, el área encerrada por las curvas de compresión, combustión-expansión y la primera parte del escape, es menor que en el ciclo teórico. Esta área representa el trabajo realizado por la máquina térmica, considerado como trabajo positivo, y, como es lógico, el trabajo realizado en el ciclo real será menor que el realizado en el ciclo teórico al tener una pérdida de área.

Por otro lado, en el ciclo teórico la fase de admisión y la segunda parte del escape tenían lugar a presión constante, es decir, representaban una línea recta en el diagrama P-V. En el ciclo real, ambos procesos generan un área conocida como lazo de renovación de la carga o lazo de bombeo. Como es sabido, un área en el diagrama P-V representa un trabajo, pero puede observarse que el perímetro del área es recorrido en sentido contrario al de las agujas del reloj,

Sabías que...

El frente de llama (1) es una frontera imaginaria que separa los gases quemados (2) de los gases sin quemar (3) en la nube de mezcla que ha entrado en combustión y se desplaza desde el entorno cercano a la bujía hacia la cabeza del pistón.



© Ediciones Paraninfo

implicando un trabajo negativo, es decir, que hay que aportarle a la máquina.

Para tratar de aproximar el ciclo real al teórico en un motor convencional, se hacen ciertas modificaciones en el diagrama de distribución. En el ciclo teórico, las válvulas abrían y cerraban en los extremos de las carreras del pistón, pero se puede mejorar el rendimiento del motor haciendo ciertas variaciones en las cotas de la distribución adelantando la apertura y retrasando el cierre de las válvulas con respecto al PMS y al PMI, como muestra la Figura 2.26. Estas modificaciones de las cotas de distribución son:

- **Avance de la apertura de la admisión (AAA):** la válvula de admisión abre cuando el pistón aún no ha llegado al PMS. De esta forma disminuye el estrangulamiento porque al iniciar la fase de admisión la válvula ya está completamente abierta. Al estar abierta también la válvula de escape, se favorece la entrada de gases frescos, ya que son arrastrados por los quemados.
- **Retraso del cierre de la admisión (RCA):** esto implica que la válvula de admisión cierra cuando el pistón ha superado el PMI, comenzando su carrera ascendente. Esta modificación mejora el llenado al aprovechar la inercia del fluido de admisión. Si la válvula cierra justo en el PMI, se desaprovecha la velocidad que tiene la vena de gas que aún podría seguir entrando en el cilindro. Si se retrasa el cierre, aunque el pistón está en su carrera de compresión, el cilindro se llena mejor.
- **Avance de la apertura del escape (AAE):** esta modificación se realiza para que el pistón no sufra una contrapresión en su carrera de escape y pueda ascender con mayor libertad, disminuyendo la estrangulación de los gases quemados al pasar a través de la válvula de escape.

Recuerda que...

El objetivo en la fase de diseño o desarrollo de un motor térmico será:

- Maximizar el área del diagrama P-V que genera trabajo positivo, aproximándose lo más posible al área del ciclo teórico. Esto implica maximizar el rendimiento térmico (η_t).
- Minimizar el área del diagrama P-V que genera trabajo negativo correspondiente al lazo de renovación de la carga. Esto implica maximizar el rendimiento volumétrico (η_V).

Tiene el inconveniente de disminuir la carrera útil de la fase de expansión, reduciendo consecuentemente el trabajo entregado, pero se compensa mejorando la facilidad para evacuar los gases residuales, limitando las pérdidas por bombeo.

- **Retraso del cierre del escape (RCE):** esta cota se sitúa en el diagrama de distribución para trabajar conjuntamente con el AAA. La válvula de escape se cierra tras el paso del pistón por el PMS, es decir, una vez iniciada la carrera descendente de admisión. Así, el barrido de los gases quemados por la válvula de escape favorece la entrada de gases frescos por la de admisión, mejorando el llenado. A la vista de las cotas AAA y RCE, se puede apreciar que la válvula de admisión y la de escape permanecen abiertas a la vez durante un cierto ángulo de giro del cigüeñal. Este ángulo se conoce como ángulo de cruce o solapo. El ángulo de cruce es un parámetro decisivo a la hora de diseñar el comportamiento del motor en cuanto a entrega de potencia. Un ángulo de cruce

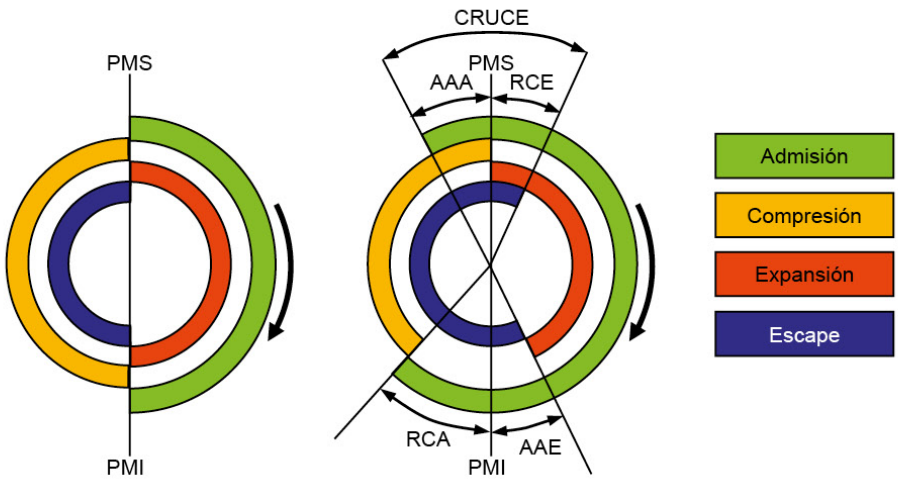


Figura 2.26. *Diagrama de distribución real de un motor Otto de cuatro tiempos, a la izquierda el teórico y a la derecha el real.*

© Ediciones Paraninfo

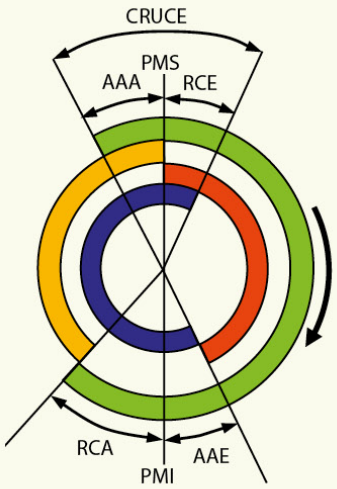
Actividad resuelta 2.5

De un motor de gasolina de cuatro tiempos se tienen las siguientes cotas de distribución: AAA = 10°, RCA = 39°, AAE = 32°, RCE = 6°.

Dibujar el diagrama de distribución y calcular el ángulo de cruce.

Solución:

Basándose en la Figura 2.26, el diagrama de distribución tiene la siguiente forma:



El ángulo de cruce será:

Ángulo de cruce = AAA + RCE = 10° + 6°
Ángulo de cruce = 16°

pequeño favorece el comportamiento a bajo y medio régimen, mientras que un ángulo de cruce mayor lo favorece a regímenes medios y altos.

Además de las modificaciones del diagrama de distribución, se practica otra, que es el avance del encendido (AE). Dado que la combustión no se produce instantáneamente y su presión máxima debe darse en el PMS, hay que adelantar el encendido o salto de chispa antes de que el pistón llegue al final de la carrera de compresión. Este avance se mide en grados girados por el cigüeñal desde el momento de encendido hasta que el pistón ha alcanzado el PMS. Hay tres tipos de avance básicos:

- **Avance inicial:** es fijo, siendo el que se representa en el sistema de distribución.
- **Avance centrífugo:** dado que el tiempo necesario para producir la combustión varía en función de las rpm, el avance de encendido ha de poder modificarse en función del régimen de giro, siendo un parámetro dinámico.
- **Avance por carga:** al igual que en el caso anterior, este es un parámetro dinámico. El tiempo que tarda en producirse la combustión depende de la carga del motor, por lo que el avance de encendido hay que modificarlo según varíe la depresión en el colector de admisión.

2.3.2. Ciclo real de un motor diésel de cuatro tiempos

Las transformaciones reales que se dan en un motor diésel de cuatro tiempos son similares a las de los motores de ciclo Otto. De hecho, el aspecto del diagrama P-V es similar, exceptuando las presiones al final de la compresión y combustión, que son mayores en el caso de los motores diésel.

Las diferencias fundamentales se encuentran en la fase de combustión y en el avance del encendido, que es sustituido por el avance de la inyección, en el caso de los motores diésel.

En cuanto a la fase de combustión, puede observarse que se desarrolla en varias etapas, siguiendo la Figura 2.27, que representa la presión en cámara en función del ángulo girado por el cigüeñal. En I_I tiene lugar el inicio de la inyección, antes de que el pistón llegue al PMS. Los grados girados por el cigüeñal desde el inicio de la inyección hasta el PMS constituyen el ángulo de avance de la inyección. El punto I_C representa el inicio de la combustión, una vez se han alcanzado las condiciones idóneas en cuanto a presión y temperatura del aire comprimido dentro del cilindro, que entra en contacto con el combustible inyectado. El periodo comprendido entre el comienzo de

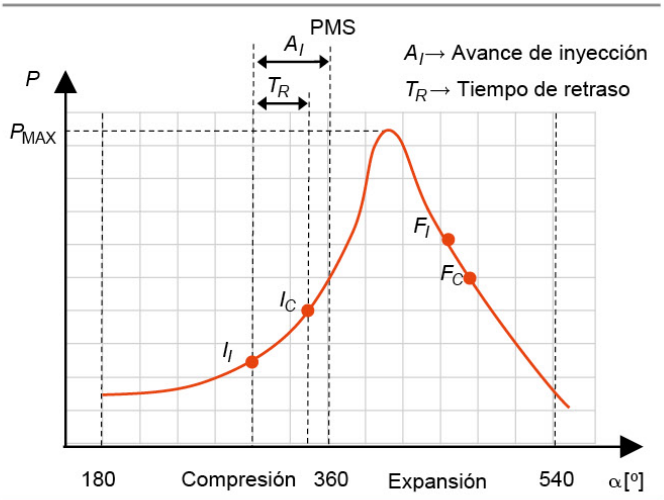


Figura 2.27. *Evolución de la combustión en un motor diésel rápido empleado en automoción.*

© Ediciones Paraninfo

la inyección y el inicio de la combustión es el tiempo de retraso, en el cual se acumula una cantidad de combustible sin quemar que se inflama bruscamente y de forma casi instantánea al inicio de la combustión, produciéndose un aumento súbito de la presión en cámara, alcanzando su máximo valor en P_{max}. Cuanto mayor es el tiempo de retraso, el ruido típico de los motores diésel es más acusado y su funcionamiento resulta más duro. Tras haber pasado el pistón por el PMS, habiendo iniciado su carrera descendente, tiene lugar el final de la inyección, F_I, terminando la combustión en F_C, a una determinada cota de la carrera de expansión.

Al igual que ocurría en los motores de encendido provocado, el avance de la inyección ha de ser un parámetro dinámico que se adapte a las diferentes condiciones de régimen de giro y carga del motor, con lo cual, la fase de combustión se verá afectada por el valor que tome este parámetro.

2.3.3. Ciclo real de un motor Otto de dos tiempos

Las variaciones que sufren las transformaciones reales de un motor de dos tiempos de gasolina son básicamente las mismas que en los motores de cuatro tiempos y se resumen a continuación:

- **Primer tiempo o fases de admisión al cárter-compresión-explosión (1-2-3-4):** la fase de admisión (1-2) no se produce a presión atmosférica, siendo este fenómeno más acusado que en los motores de cuatro tiempos porque al no tener sistema de distribución y ser el propio pistón el que hace de válvula, hay menos tiempo para realizar el llenado. Además, como los gases frescos han de barrer a los quemados, estos ofrecen una resistencia adicional al llenado del cilindro. La fase de compresión (2-3) no es totalmente adiabática y la presión obtenida al final de la misma es menor que la teórica por haber partido de una presión inferior. La combustión (3-4) no es isócora, al ser progresiva y producirse pérdidas de calor, por lo que la presión máxima de combustión también es menor que la teórica. La Figura 2.28 muestra las transformaciones reales de un motor de dos tiempos de ciclo Otto.
- **Segundo tiempo o fases de expansión-precompresión al cárter-escape-transferencia (4-5-1):** la expansión (4-5) no es adiabática porque se transfiere calor a través de las paredes del cilindro y el trabajo producido es menor que el teórico al haberse iniciado con una presión máxima de combustión menor. La fase correspondiente al escape tampoco se produce instantáneamente, por lo que no es isócora.

El diagrama de distribución real de un motor de dos tiempos es el que representa la Figura 2.29.

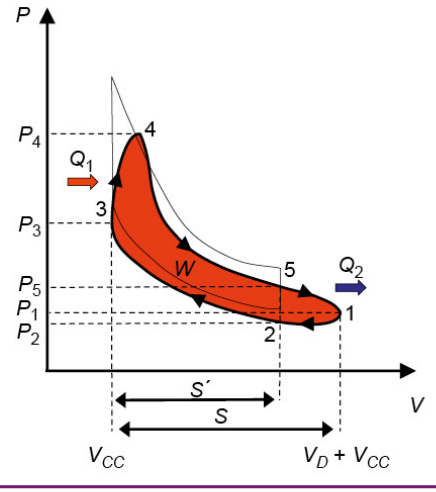


Figura 2.28. *Diagrama real de un motor de dos tiempos ciclo Otto.*

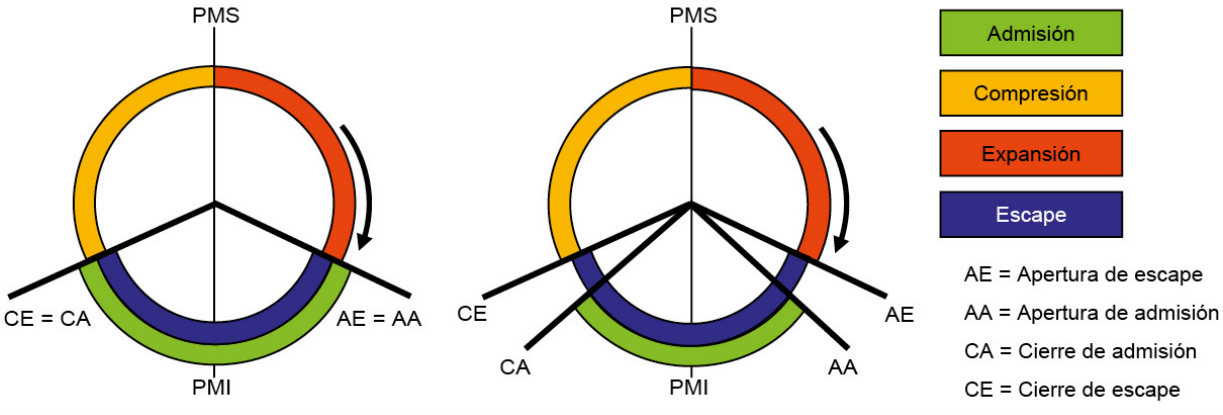


Figura 2.29. *Diagrama de distribución real un motor de dos tiempos, a la izquierda el teórico y a la derecha el real.*

© Ediciones Paraninfo

2.4. Rendimientos térmicos teóricos de los ciclos de trabajo

Los ciclos teóricos son una primera aproximación al estudio de los motores térmicos porque se suponen unas hipótesis que simplifican su funcionamiento. Las hipótesis más importantes son que todas las transformaciones son reversibles, no hay pérdidas ni de calor ni de tiempo y que el fluido que evoluciona es aire. El considerar que el fluido de trabajo es aire significa que evoluciona en el ciclo sufriendo las mismas transformaciones que si se considerase una mezcla de aire-combustible, que en la fase de combustión se le aporta una cantidad de calor similar a la generada por la inflamación de una mezcla real y que en el escape cede la misma cantidad de calor que si se utilizara el fluido real. Si a esto se le añade que el aire es tratado como si fuera un gas ideal, se puede iniciar el estudio de los motores de combustión interna como si fueran máquinas térmicas que trabajan en condiciones ideales.

Con estas premisas, el ciclo teórico de un motor de combustión interna puede equipararse al ciclo de Carnot, ciclo ideal cuyo rendimiento era el máximo al que podría aspirar cualquier máquina térmica que trabajase entre dos focos térmicos.

El rendimiento de Carnot se formulaba de la siguiente forma:

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Como la diferencia entre el calor aportado y el cedido es el trabajo realizado por la máquina térmica, el rendimiento de Carnot se puede reescribir como:

$$\eta_t = \frac{W}{Q_1}$$

Siendo esta expresión la que relaciona el trabajo obtenido con respecto a la cantidad de calor aportado. Como el trabajo y el calor se miden en julios (J), el rendimiento no tiene unidades, ya que representa el factor de aprovechamiento de la energía.

Partiendo de la expresión del ciclo de Carnot, matemáticamente se demuestra que el rendimiento teórico de un motor de combustión interna alternativo es el siguiente:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{\gamma - 1}}$$

Donde:

r es la relación de compresión volumétrica del motor.

γ es el coeficiente adiabático del motor, siendo 1,33 para los motores de gasolina y 1,4 para los motores diésel.

Esta expresión del rendimiento térmico teórico es válida para motores Otto y diésel. La diferencia fundamental entre sus ciclos ideales radicaba en que en los motores diésel rápidos el proceso de combustión se da en dos fases, una a volumen constante y otra a presión constante, pero como la fase de volumen constante predomina sobre la de presión constante, el diagrama tiene prácticamente las mismas transformaciones que un motor de gasolina y puede aplicarse la misma fórmula del rendimiento teórico en los motores gasolina y diésel empleados en automoción.

Una consecuencia directa de la expresión del rendimiento térmico es que este aumenta conforme lo hace la relación de compresión, pero este parámetro está limitado en los motores por las tensiones mecánicas a las que estarían sometidos sus componentes y en el caso de los motores de gasolina, en concreto, porque hay que mantener la mezcla dentro de los límites de inflamabilidad que permiten comprimir la mezcla sin que se produzcan detonaciones antes del salto de chispa.

A lo largo de este tema se han explicado los ciclos teóricos y los ciclos reales de los motores térmicos. Los ciclos teóricos se determinan matemáticamente aplicando determinadas fórmulas termodinámicas que permiten saber cuál es la presión, el volumen y la temperatura en cada punto del ciclo, de un motor que trabaja con un fluido de determinadas características y que opera con una relación de compresión establecida. Los ciclos reales se obtienen en bancos de pruebas instrumentando el motor con unos aparatos que miden el desplazamiento del pistón, determinando la variación de volumen, y la presión en el cilindro en cada posición del pistón, como muestra esquemáticamente la Figura 2.30. De esta forma se puede generar el diagrama P-V real. Estos aparatos se denominan indicadores, con lo que el diagrama real de un motor térmico se conoce también como diagrama del indicador.

Tanto el diagrama teórico como el real, o del indicador, encierran entre las líneas de compresión, combustión, expansión e inicio del escape un área que representa el trabajo

Recuerda que...

Ningún rendimiento tiene unidades. Se expresa en:

- Tanto por uno, tomando valores entre 0 y 1 si se realiza la operación sin más.
- Tanto por ciento (%), tomando valores entre 0 y 100, si tras realizar la operación se multiplica el resultado por 100.

© Ediciones Paraninfo

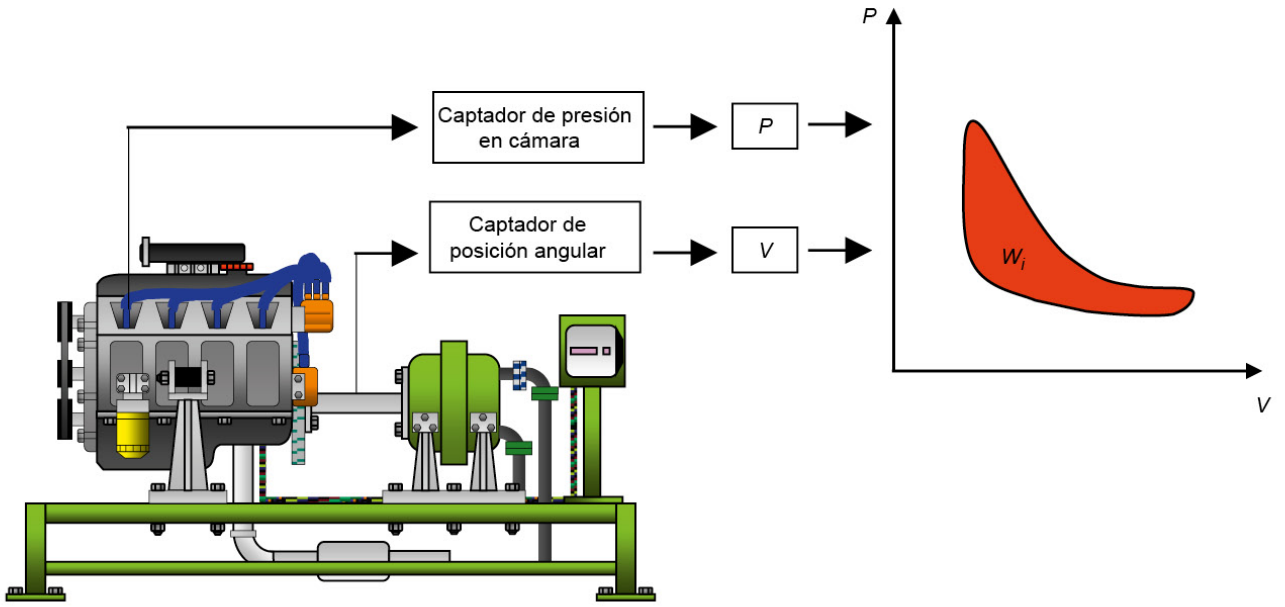


Figura 2.30. *Obtención del diagrama del indicador.*

entregado por el motor. El trabajo generado en el diagrama real se llama trabajo indicado o W_i.

Como se puede observar en la Figura 2.31, el área del diagrama teórico es mayor que el indicado y la relación que hay entre ambas es el rendimiento del diagrama:

$$\eta_d = \frac{S_i}{S_t}$$

Donde:

η_d es el rendimiento del diagrama.

S_i es la superficie del diagrama del indicador.

S_t es la superficie del diagrama teórico.

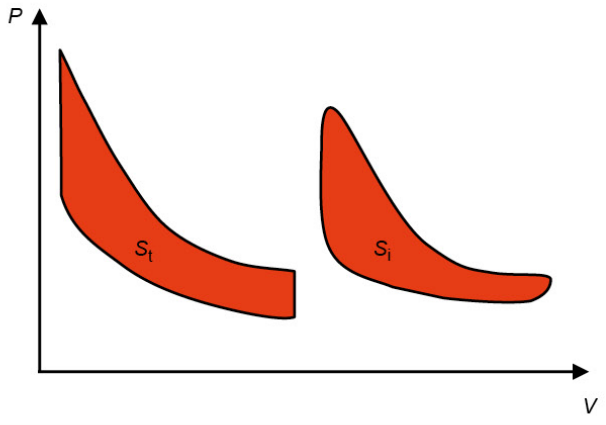


Figura 2.31. *Comparación entre el área del diagrama teórico y del diagrama real o del indicador.*

Con el diagrama del indicador se puede obtener la presión media indicada o pmi, que es el valor medio de la presión en el interior del cilindro a lo largo de la parte del ciclo que genera trabajo positivo. La Figura 2.32 muestra gráficamente la obtención de este parámetro y en ella puede observarse que la pmi es la altura de un rectángulo cuya base es el volumen desplazado por el pistón (V_D) y cuya área es

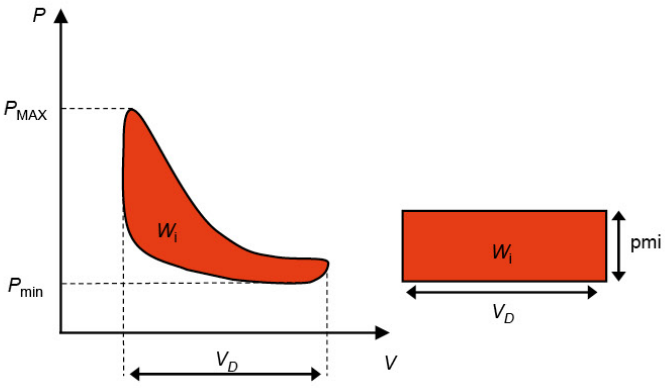


Figura 2.32. *Representación gráfica de la presión media indicada (pmi).*

Recuerda que...

$$1\ Pa = \frac{1\ N}{1\ m^2}$$

$$1\ J = 1\ N \cdot 1\ m$$

© Ediciones Paraninfo

el mismo trabajo (W_i) que encierra el diagrama del indicador. La demostración de que el área del rectángulo es el trabajo indicado se demuestra partiendo de la fórmula del área de un rectángulo:

$$A = b \cdot h$$

$$W_i = V_D \cdot pmi$$

Donde:

A es el área del rectángulo y por tanto el trabajo indicado W_i.

b es la base del rectángulo y por tanto el volumen desplazado V_D.

h es la altura del rectángulo y por tanto la presión media efectiva pmi.

Si ahora se toma el volumen desplazado (V_D) en metros cúbicos, m^3, por ejemplo, y la presión media efectiva (pmi) en pascales, Pa, siendo $1\text{Pa} = \frac{1\ \text{N}}{1\ \text{m}^2}$, el área tiene unidades de trabajo, julios, J, siendo $1\ \text{J} = 1\ \text{N} \cdot 1\ \text{m}$.

Efectivamente:

$$W_i[\text{N} \cdot \text{m}] = V_D[\text{m}^3] \cdot pmi \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right]$$

Operando las unidades:

$$W_i[\text{N} \cdot \text{m}] = V_D[\text{m}^3] \cdot pmi \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right]$$

Resultan N · m, es decir, julios (J) .

Actividad resuelta 2.6

Un motor de gasolina tiene una relación de compresión de 9,5:1. Calcular su rendimiento térmico teórico. Dato: $\gamma = 1{,}33$.

Solución:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{\gamma - 1}} = 1 - \frac{1}{9{,}5^{1{,}33-1}} = 1 - \frac{1}{9{,}5^{0{,}33}}$$

$$\eta_t = 0{,}5243 = 52{,}43\ \%$$

Luego el rendimiento térmico teórico será del 52,43 %.

Actividad resuelta 2.7

Un motor diésel tiene una relación de compresión de 18,5:1. Calcular su rendimiento térmico teórico. Dato: $\gamma = 1{,}4$.

Solución:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{\gamma - 1}} = 1 - \frac{1}{18{,}5^{1{,}4-1}} = 1 - \frac{1}{18{,}5^{0{,}4}}$$

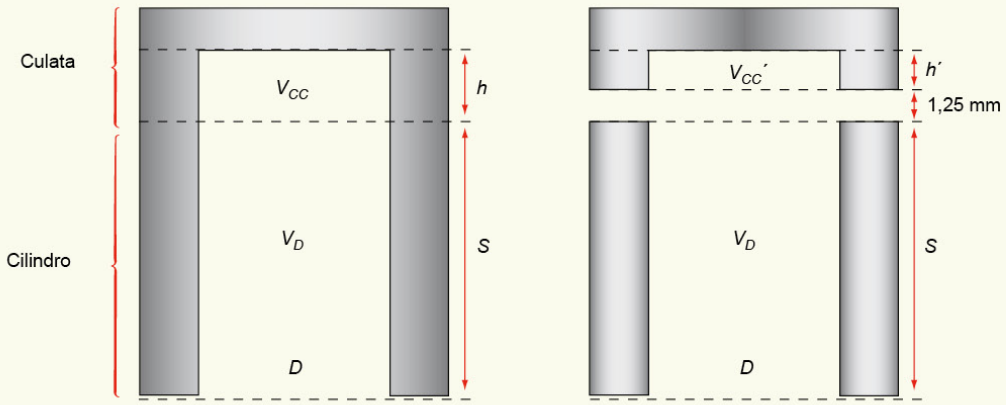
$$\eta_t = 0{,}6887 = 68{,}87\ \%$$

Luego el rendimiento térmico teórico será del 68,87 %.

© Ediciones Paraninfo

Actividad resuelta 2.8

Un motor de gasolina de cuatro tiempos tiene un cilindro de 75 mm de diámetro y una carrera de 77 mm. El volumen de la cámara de combustión es de 43 cm^3. Se rebaja la culata 1,25 mm. Calcular la relación de compresión y el rendimiento térmico teórico antes y después de la modificación. Datos: $\gamma = 1{,}33$. Nota: se supone que la cámara de combustión tiene la misma forma que el cilindro.



Solución:

Lo primero que hay que hacer es convertir las unidades a cm para calcular el volumen desplazado V_D y posteriormente la relación de compresión r y el rendimiento térmico teórico η_t iniciales.

$$D = 75 \text{ mm} = 7{,}5 \text{ cm}$$

$$S = 77 \text{ mm} = 7{,}7 \text{ cm}$$

$$V_D = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot S = \pi \cdot \frac{7{,}5^2\,[\text{cm}^2]}{4} \cdot 7{,}7\,[\text{cm}] \quad \Rightarrow \quad V_D = 340{,}18 \text{ cm}^3$$

$$r = \frac{V_D + V_{CC}}{V_{CC}} = \frac{340{,}18 + 43}{43} \quad \Rightarrow \quad r = 8{,}91 : 1$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{\gamma - 1}} = 1 - \frac{1}{8{,}91^{1{,}33-1}} = 1 - \frac{1}{8{,}91^{0{,}33}} \quad \Rightarrow \quad \eta_t = 0{,}5141 = 51{,}41\,\%$$

Para hacer los cálculos tras la modificación hay que calcular el nuevo volumen de la cámara de combustión V'_{CC} sabiendo que se rebaja la culata 1,25 mm (0,125 cm), es decir, la altura inicial h de la cámara de combustión pasará a ser h′.

$$V_{CC} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h \quad \Rightarrow \quad h = \frac{4 \cdot V_{CC}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 43\,[\text{cm}^3]}{\pi \cdot 7{,}5^2\,[\text{cm}^2]} \quad \Rightarrow \quad h = 0{,}9733 \text{ cm}$$

$$h' = h - 0{,}125 = 0{,}9733 - 0{,}125 \quad \Rightarrow \quad h' = 0{,}8483 \text{ cm}$$

$$V'_{CC} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h' = \pi \cdot \frac{7{,}5^2\,[\text{cm}^2]}{4} \cdot 0{,}8483\,[\text{cm}] \quad \Rightarrow \quad V'_{CC} = 37{,}48 \text{ cm}^3$$

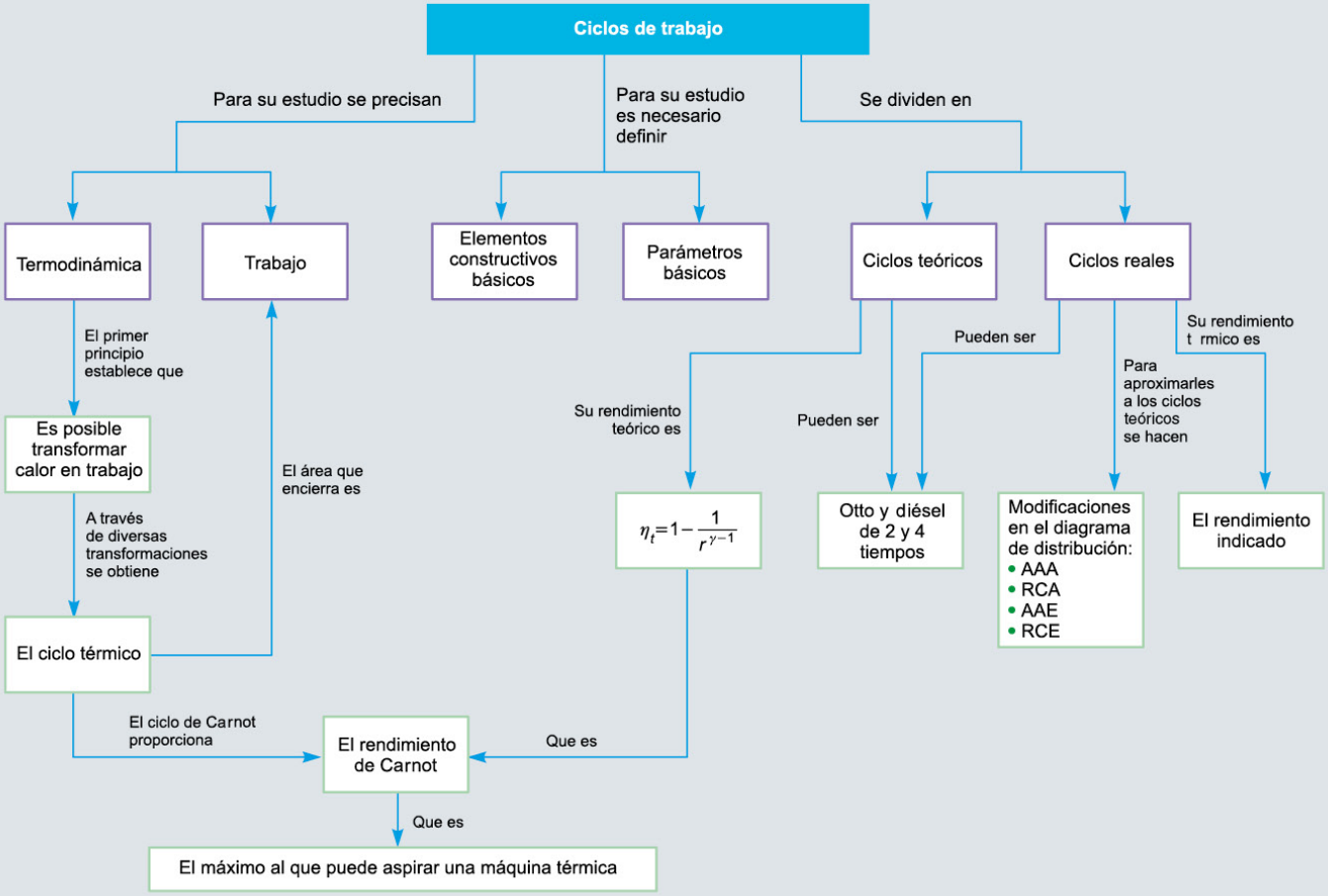
$$r' = \frac{V_D + V'_{CC}}{V'_{CC}} = \frac{340{,}18 + 37{,}48}{37{,}48} \quad \Rightarrow \quad r' = 10{,}08 : 1$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r'^{\gamma - 1}} = 1 - \frac{1}{10{,}08^{1{,}33-1}} = 1 - \frac{1}{10{,}08^{0{,}33}} \quad \Rightarrow \quad \eta_t = 0{,}5334 = 53{,}34\,\%$$

© Ediciones Paraninfo

SÍNTESIS

Ciclos de trabajo



© Ediciones Paraninfo

COMPRUEBA

2.1. Un sistema termodinámico se dice que está en equilibrio si está en:

a) Equilibrio químico.

b) Equilibrio mecánico.

c) Equilibrio térmico.

d) Todas las anteriores son correctas.

2.2. El principio de conservación de la energía corresponde al:

a) Primer principio de la termodinámica.

b) Segundo principio de la termodinámica.

c) Tercer principio de la termodinámica.

d) Ninguna de las anteriores es correcta.

2.3. Una transformación adiabática significa que es:

a) A volumen constante.

b) A presión constante.

c) A temperatura constante.

d) A calor constante.

2.4. El rendimiento del ciclo de Carnot:

a) Es el mínimo que podría tener una máquina térmica.

b) Es el máximo que podría tener una máquina térmica.

c) Es el que tienen todas las máquinas térmicas.

d) Es el rendimiento útil de un motor de combustión interna.

2.5. El volumen que descubre el pistón cuando está situado en el PMI es:

a) El volumen desplazado V_D.

b) El volumen de la cámara de combustión V_{CC}.

c) El volumen desplazado más el de la cámara de combustión.

d) Depende del tipo de motor.

2.6. Un motor diésel, en la fase de admisión, admite:

a) Aire.

b) Combustible.

c) Aire y combustible.

d) Depende de las revoluciones.

2.7. En un motor Otto de dos tiempos, la carrera efectiva es la distancia recorrida por el pistón:

a) Desde que abre la lumbrera de transferencia hasta el PMS.

b) Desde que cierra la lumbrera de transferencia hasta el PMS.

c) Desde que abre la lumbrera de escape hasta el PMS.

d) Desde que cierra la lumbrera de escape hasta el PMS.

2.8. La combustión real en un motor de gasolina:

a) Es progresiva.

b) Es incompleta.

c) Tiene pérdidas de calor.

d) Todas las anteriores son correctas.

2.9. El tiempo de retraso en un motor diésel es el tiempo que transcurre desde que:

a) Comienza la inyección y comienza la combustión.

b) Comienza la inyección y acaba la combustión.

c) Acaba la inyección y comienza la combustión.

d) Acaba la inyección y acaba la combustión.

2.10. El rendimiento térmico teórico de un motor de combustión interna:

a) Disminuye con la relación de compresión.

b) Aumenta con la relación de compresión.

c) Depende de si el motor es diésel o gasolina.

d) b y c son correctas.

REALIZA

2.11. De un motor alternativo de cuatro tiempos se saben las siguientes características: $D = 81{,}0$ mm, $S = 83{,}5$ mm, $V_{CC} = 47{,}81$ cm^3, $z = 4$. Calcular:

a) Si el motor es cuadrado, supercuadrado o alargado.

b) La cilindrada total V_T.

c) La relación de compresión r.

2.12. Un motor de combustión interna alternativo de cuatro tiempos tiene los siguientes parámetros: $D = 84{,}0$ mm, $S/D = 1{,}0536$, $z = 4$, $r = 9{:}1$. Calcular:

a) El volumen desplazado V_D.

b) La cilindrada total V_T.

c) El volumen de la cámara de combustión V_{CC}.

© Ediciones Paraninfo

2.13. De un motor de gasolina de cuatro tiempos se tienen sus cotas de distribución: AAA = 12°, RCA = 48°, AAE = 52°, RCE = 8°. Dibujar el diagrama de distribución y calcular el ángulo de cruce.

2.14. De un motor diésel de cuatro tiempos se tienen sus cotas de distribución: AAA = 6°, RCA = 46°, AAE = 50°, RCE = 2°. Dibujar el diagrama de distribución y calcular el ángulo de cruce.

2.15. Dos motores tienen la misma cilindrada pero diferentes cotas de distribución.

Para el motor 1: AAA = 6°, RCA = 32°, AAE = 44°, RCE = 1°.

Para el motor 2: AAA = 7°, RCA = 41°, AAE = 56°, RCE = 7°.

Basándose en los diagramas de distribución, comparar el comportamiento de ambos motores.

2.16. Un motor de gasolina tiene una relación de compresión de 9,7:1. Calcular su rendimiento térmico teórico. Dato: $\gamma = 1{,}33$.

2.17. Un motor diésel tiene las siguientes características: $D = 75$ mm, $S = 77$ mm, $V_{CC} = 16{,}19$ cm^3. Calcular su rendimiento térmico teórico. Dato: $\gamma = 1{,}4$.

2.18. Un motor de gasolina de cuatro tiempos tiene un cilindro de 79,5 mm de diámetro y una carrera de 80,5 mm. El volumen de la cámara de combustión es de 44,39 cm^3. Se rebaja la culata 1,15 mm. Calcular la relación de compresión y el rendimiento térmico teórico antes y después de la modificación. Datos: $\gamma = 1{,}33$. Nota: se supone que la cámara de combustión tiene la misma forma que el cilindro.

2.19. Un motor tiene un cilindro de 80 mm de diámetro y 81 mm de carrera, siendo su relación de compresión de 9:1. Calcular cuánto varía su relación de compresión y su rendimiento térmico teórico si:

a) Se rectifica el cilindro aumentando 1 mm su diámetro.

b) Se rebaja la culata 1 mm.

Datos: $\gamma = 1{,}33$. Nota: se supone que la cámara de combustión tiene la misma forma que el cilindro.

2.20. De un motor de encendido provocado se conocen los siguientes datos: $D = 82{,}5$ mm, $S = 92{,}8$ mm, $r = 9{,}8{:}1$, $\gamma = 1{,}33$. Calcular cuánto hay que rebajar la culata para aumentar el rendimiento térmico teórico en un 1 %.

INVESTIGA

2.21. Investigar en libros o en internet acerca de otros ciclos teóricos a partir de los cuales se pueden construir diversas máquinas térmicas, como por ejemplo el ciclo de Stirling, analizando las transformaciones termodinámicas que tienen lugar.

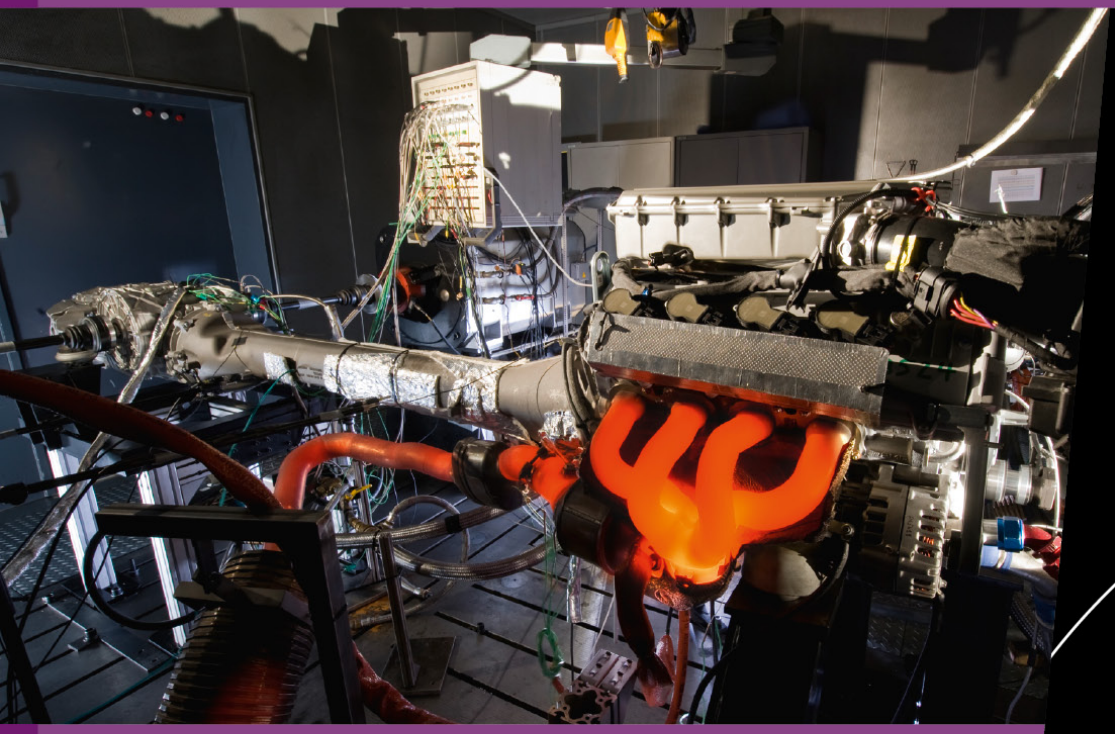
2.22. Buscar en diferentes manuales de taller o revistas del automóvil los siguientes parámetros correspondientes a diez vehículos distintos: diámetro del cilindro D, carrera S, relación de compresión r y el número de cilindros z. Con ellos calcular el volumen de la cámara de combustión V_{CC}, el área del pistón A_p y la cilindrada total V_T.

2.23. Buscar en diversos manuales de taller las cotas de distribución de al menos ocho vehículos diferentes, gasolina y diésel, atmosféricos y sobrealimentados. Dibujar los diagramas de distribución, calcular sus ángulos de cruce y comentar los resultados.

2.24. Encontrar las características técnicas de un motor de gasolina de gran cilindrada y potencia y de otro de pequeña cilindrada y potencia. Con los datos disponibles calcular los rendimientos térmicos teóricos de ambos motores y comentar los resultados observando si hay grandes diferencias.

© Ediciones Paraninfo

Parámetros fundamentales y curvas características



3

CONTENIDOS

3.1. Ensayos de motores
3.2. Parámetros fundamentales y métodos de obtención
3.3. Obtención de las curvas características de un motor

OBJETIVOS

- Entender la necesidad de probar los motores en bancos de ensayos.
- Describir los elementos que componen un banco de ensayos.
- Analizar los diferentes parámetros que describen el funcionamiento de un motor de combustión interna.
- Comprender los métodos de obtención de los parámetros característicos de los motores térmicos.
- Obtener las curvas características de un motor.

Para poder entender el funcionamiento de un motor de combustión interna hay que analizar sus diferentes parámetros de funcionamiento antes de que sea instalado en su aplicación final. Estos parámetros se obtienen en un banco de pruebas o de ensayos en función de diferentes regímenes de giro y grados de carga.

En este capítulo se van a estudiar los diferentes parámetros que definen el funcionamiento de un motor térmico, describiendo la forma en que se obtiene cada uno de ellos. Al final se realizará un ejemplo completo de representación de las curvas características de un motor a partir de los datos obtenidos en un banco de ensayos.

3.1. Ensayos de motores

3.1.1. Tipos de ensayos

Para el diseño, puesta a punto y desarrollo de un motor es necesario disponer de bancos de ensayo o bancos de potencia que permitan medir con precisión sus prestaciones.

Los ensayos pueden ser muy diferentes en función de la finalidad del motor y de su etapa de desarrollo. Los tipos de ensayos más importantes son:

- **De investigación:** pueden ser de muy diversos tipos, como por ejemplo para el desarrollo de nuevos motores fabricados con diferentes materiales, para realizar evoluciones de los ya existentes o bien para la implementación de nuevos sistemas auxiliares. Quizás en el ámbito de los sistemas auxiliares haya sido donde los ensayos de investigación han tenido más importancia en los últimos tiempos y gracias a ellos hoy en día existe, por ejemplo, la inyección directa de gasoil a alta presión, la inyección directa de gasolina, los sistemas de distribución variable… Actualmente los ensayos de investigación tienen vital trascendencia en la experimentación de nuevos combustibles, como el biodiésel o el bioetanol, así como en el desarrollo de nuevos tipos de motores, como los híbridos.
- **De producción:** este tipo de ensayos suelen estar relacionados con el control de calidad. En ellos se comprueban las prestaciones del motor, así como su fiabilidad, de cara a estimar la duración de los componentes y degradación del motor a medida que avanzan sus horas de funcionamiento. El objetivo es que el motor obtenga unos mínimos requisitos de calidad antes de salir al mercado.
- **De homologación:** cada motor nuevo ha de ser homologado por un organismo oficial antes de su comercialización, a fin de verificar que sus características técnicas se corresponden realmente con su comportamiento. El ensayo se realiza siguiendo algún tipo de norma internacional, como la DIN, SAE, ISO… que establece las condiciones del ensayo y los parámetros característicos a medir.
- **De recepción:** estos ensayos se realizan para comprobar las prestaciones del motor, pero no ante un organismo oficial, sino de cara al usuario final. Suelen ejecutarse en el caso de grandes motores marinos o estacionarios cuyo volumen de ventas es reducido pero su coste muy elevado, ya que de ellos depende la operatividad de la instalación a la que se aplique.

A su vez, las pruebas a realizar en los ensayos pueden ser:

- **De potencia:** generalmente en este tipo de pruebas se obtiene la presión media efectiva del motor, el par, la potencia y el consumo específico de combustible.
- **De emisiones contaminantes:** hoy en día la normativa anticontaminación es muy exigente y antes de que un motor salga al mercado ha de cumplirla. En este tipo de pruebas se modifican diferentes parámetros referentes a la gestión del motor y se prueban los sistemas auxiliares que pueden influir en las emisiones contaminantes para reducirlas al máximo.
- **De fiabilidad:** para comprobar la fiabilidad del motor y sus componentes se realizan diversas pruebas que forman parte del control de calidad y pueden ser de función, cuando se desea comprobar la funcionalidad de un componente, o de duración, cuando se pretende estimar lo que va a durar cierto elemento del motor.
- **De ruidos y vibraciones:** con el fin de cumplir la normativa de emisiones acústicas y mejorar el confort del vehículo se realizan pruebas de ruidos y vibraciones. En el caso de las pruebas de vibraciones también se puede estimar la duración de un componente, convirtiéndose en una prueba de fiabilidad, ya que un nivel excesivo de vibración en un elemento puede llevar a su degradación o rotura.

3.1.2. Estructura de un banco de ensayos

Un banco de ensayos mide determinados parámetros del motor en función de su régimen de giro. Para ello es necesario un freno dinamométrico que pueda generar un par resistente que proporcione una carga al motor. Esta carga ha de poder ser variable a fin de ensayar el motor en cualquier condición de funcionamiento. Los bancos de pruebas constan de los siguientes elementos básicos, representados en la Figura 3.1:

- **Celda de ensayo (1):** donde se ubica el motor, el freno y toda la instrumentación necesaria para su ensayo.
- **Sala de control (2):** para poder controlar las pruebas sobre el motor son necesarios equipos que monitoricen los parámetros de funcionamiento. En los bancos más modernos, a través de un ordenador se pueden programar las pruebas a realizar y simular condiciones de funcionamiento: rampas de aceleración, funcionamiento cíclico bajo ciertas condiciones, tiempos de rodaje…
- **Cimentación (3):** sobre la cual se instala el banco y ha de absorber las vibraciones y esfuerzos que se generan cuando el motor está en funcionamiento y a su vez se le somete a carga a través del freno.
- **Bancada (4):** que tiene que soportar el motor, el freno, los elementos auxiliares del motor y la instrumentación. La unión entre la bancada y el resto de elementos se realiza por medio de diversos soportes.

© Ediciones Paraninfo

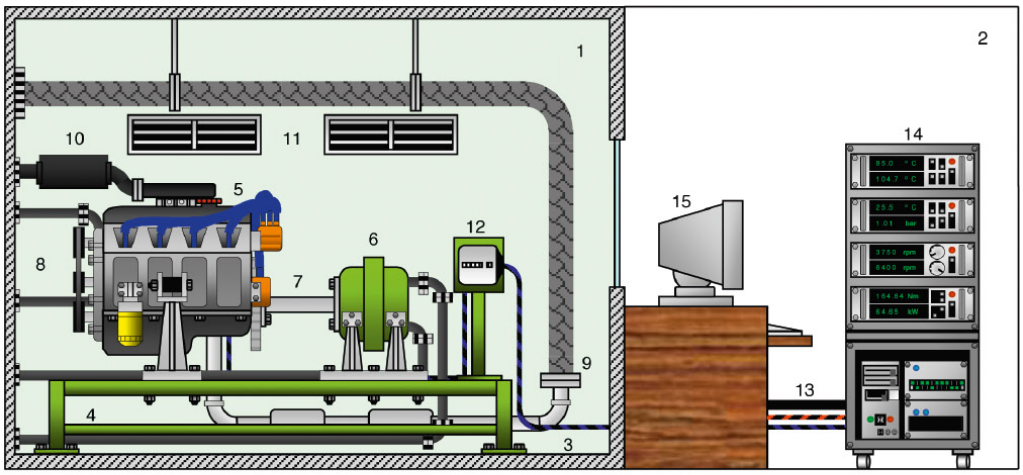


Figura 3.1. *Elementos de un banco de ensayos.*

- **Motor de ensayo (5):** que se instala sobre la bancada y al que se le montan todos sus sistemas auxiliares.
- **Freno dinamométrico (6):** es el encargado de absorber la potencia del motor y a su vez someterlo a carga. Lleva incorporado un dispositivo que mide el par motor. En el caso de algunos frenos eléctricos, pueden funcionar también como motores, pudiendo hacer girar al motor sin encendido para medir las pérdidas mecánicas.
- **Transmisión (7):** es un sistema de acoplamiento entre el motor y el freno. Puede ser de muchos tipos: directa (unión volante motor-freno) o con algún sistema de acoplamiento (que funciona a modo de embrague). Cuando el freno y el motor no están alineados es necesario instalar una junta cardánica para compensar dicha desalineación.
- **Redes de agua (8):** es necesario un circuito para la refrigeración del motor y otro para la refrigeración del freno. Para controlar la temperatura del motor se dispone de un circuito cerrado de recirculación de agua. Para el caso de los frenos eléctricos existe otro circuito independiente para su refrigeración. El agua de estos circuitos es tratada para evitar la corrosión de los conductos y de los elementos a refrigerar.
- **Sistema de aspiración de los gases de escape (9):** necesario para no llenar de gases tóxicos la celda de ensayo. A través de un sistema de aspiración y una manguera flexible se sacan los humos al exterior.
- **Sistema de presurización de la admisión (10):** en la mayoría de los bancos modernos se incorpora un sistema capaz de mantener una determinada presión de admisión. Esto se hace para poder comparar todos los motores de todos los fabricantes en las mismas condiciones atmosféricas, con lo cual se simula que la presión de admisión es la que hay a nivel del mar, es decir, 1 atmósfera. Además, para la homologación de motores hay que cumplir una norma que establece las condiciones de presión y temperatura atmosféricas.

Recuerda que...

La equivalencia entre unidades de presión es la siguiente:

1 atm

760 mmHg

101.300 Pa

1,013 bar

1,03 kg/cm^2

- **Sistema de climatización (11):** con el fin de cumplir la normativa de ensayos, es necesario mantener la celda a una temperatura establecida a través del sistema de climatización.
- **Unidad de control del motor (12):** necesaria para su funcionamiento y de la que se van a obtener diferentes parámetros.
- **Sistema de comunicación con la sala de control (13):** a través de diferentes cables que conectan la instrumentación, la unidad de control del motor, el control del freno…
- **Rack de control (14):** consistente en un bastidor metálico que soporta los sistemas que monitorizan los parámetros de funcionamiento del motor (par, potencia, régimen de giro, presiones, temperaturas…).
- **Equipo informático (15):** que permite programar las pruebas y registrar los datos obtenidos.

© Ediciones Paraninfo

Además de los bancos de ensayo de motores existen otros que permiten ensayar el vehículo en su conjunto, llamados bancos de rodillos. Estos bancos reproducen las condiciones de marcha del vehículo en carretera sin riesgos y de forma objetiva e independiente de factores externos (condiciones atmosféricas, estado de la carretera…).

3.2. Parámetros fundamentales y métodos de obtención

3.2.1. Par (*M*)

El par efectivo del motor en función del régimen de giro es uno de los parámetros más importantes ya que con él se generará la curva de potencia efectiva. El par, en general, se define como el producto de una fuerza *F* que actúa perpendicularmente sobre un objeto que puede girar alrededor de un eje de giro que está a una distancia *d*. Este concepto puede aplicarse a la acción de abrir una puerta o a la de apretar una tuerca con una llave.

$$M = F \cdot d$$

Donde:

M es el par, en N · m.

F es la fuerza, en N.

d es la distancia al eje de giro, en m.

A veces, el par motor, en vez de expresarse en N · m, se expresa en m · kg. Para pasar de una unidad a otra, basta recordar que 1 kg de masa equivale a 9,8 N de fuerza, es decir, hay que multiplicar o dividir por el valor de la aceleración de la gravedad.

Actividad resuelta 3.1

Calcular el par de apriete en N · m y en m · kg aplicado a una tuerca si sobre el extremo de una llave de longitud 40 cm se le aplica una fuerza de 50 N.

Solución:

$$M = F \cdot d = 50[\text{N}] \cdot 40[\text{cm}] \cdot \frac{1}{100}\left[\frac{\text{m}}{\text{cm}}\right]$$

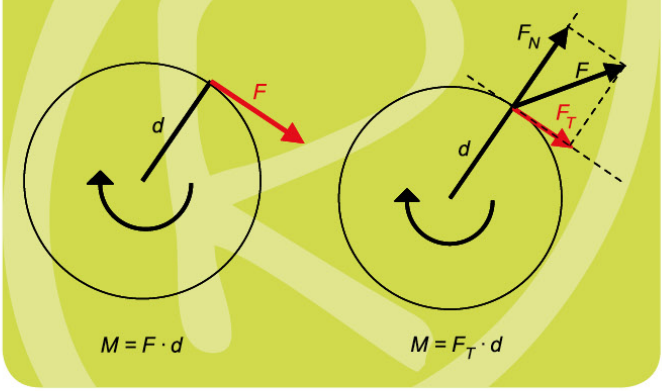
$$M = 20\ \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M = 20[\text{N} \cdot \text{m}] \cdot \frac{1}{9{,}8}\left[\frac{\text{kg}}{\text{N}}\right]$$

$$M = 2{,}04\ \text{m} \cdot \text{kg}$$

Recuerda que...

Para que se produzca un par es necesario aplicar la fuerza perpendicularmente o bien obtener la componente de la misma que es perpendicular al radio de giro.



En el caso de los motores, el par será el resultado de multiplicar la fuerza media que sufre la superficie del pistón debida a la presión de los gases en combustión dentro del cilindro y a las fuerzas alternativas de inercia, por el radio de la manivela o distancia *r* desde el centro de la muñequilla al centro de giro. Se habla de fuerza media sobre la cabeza del pistón porque la presión evoluciona dependiendo de la posición del pistón a lo largo de la carrera. Por otro lado, siguiendo la Figura 3.2, debido al cambio de posición de la biela con

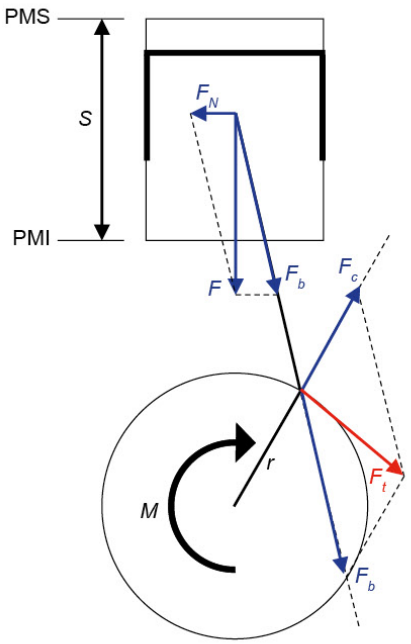


Figura 3.2. *Descomposición de la fuerza debida a la presión de los gases sobre el área del pistón a lo largo del mecanismo biela-manivela.*

© Ediciones Paraninfo

respecto al eje del cilindro, la descomposición de la fuerza perpendicular a la manivela varía su magnitud, de cero en el PMS, a máximo en un punto intermedio de la carrera, a cero otra vez en el PMI. En la Figura 3.2, F es la fuerza sobre la cabeza del pistón que, para una posición de la biela cuando el pistón está en un punto intermedio de la carrera se descompone en:

- F_N, que es una fuerza normal o perpendicular a la superficie del cilindro y causante de las pérdidas de potencia por rozamiento del pistón contra las paredes del cilindro, originando su desgaste.
- F_b, que es la descomposición de la fuerza F a lo largo de la biela, transmitiéndose a lo largo de la misma y actuando sobre la manivela.

Una vez aplicada la fuerza F_b en el centro de la muñequilla, a su vez se descompone en otras dos:

- F_c, que es una fuerza centrífuga en la dirección del radio de la manivela.
- F_t, que es la fuerza tangencial al movimiento circular de la manivela y por tanto perpendicular a su radio de giro (r), generando el par motor (M).

Como puede deducirse, el par motor es variable en el tiempo según la posición que adopte el mecanismo biela-manivela y de la fuerza generada por la presión de los gases dentro del cilindro. En la Figura 3.3 está representada la evolución del par de un motor monocilíndrico en función del ángulo girado por el cigüeñal a lo largo de un ciclo completo de trabajo, cuando el motor está funcionando a un determinado régimen.

El par motor es el valor medio de la fuerza tangencial resultante aplicada perpendicularmente al radio de la manivela, a un determinado régimen de giro y carga del motor.

Sabías que...

La carga de un motor es el nivel de exigencia de prestaciones del mismo en un determinado momento. Intuitivamente puede relacionarse con la posición del acelerador, si no se acciona, el motor no tiene carga, si se posiciona en la mitad de su recorrido, el motor está a media carga y si se lleva al final de su recorrido el motor está a plena carga.

Las curvas características de par, potencia y consumo específico que ofrecen los fabricantes se realizan a plena carga.

La curva de par a plena carga, ofrecida por el fabricante en las características técnicas del motor, se generará representando para todo el rango de revoluciones a las que puede funcionar el motor ese valor medio de par, estando en condiciones de plena carga, como muestra la Figura 3.4, pudiéndose ver cuál es el par máximo del motor y a qué régimen de giro lo da. Es evidente que el par motor variará en función de las revoluciones ya que no siempre el llenado del cilindro es el óptimo y tampoco lo es la manera de producirse la combustión.

Una de las formas de medir el par motor es a través de un elemento que absorbe y a su vez disipa la potencia entregada por el motor. Normalmente se utilizan frenos dinamométricos, cuyo objetivo es para cada régimen de motor y fijado un nivel de carga, frenar el embalamiento del motor de forma que el par suministrado por el motor es igual al par de frenado aplicado por el freno, estando el sistema en equilibrio y permaneciendo la velocidad de giro constante. De esta forma, conociendo el par de frenado, se conoce el par entregado por el motor en esas condiciones.

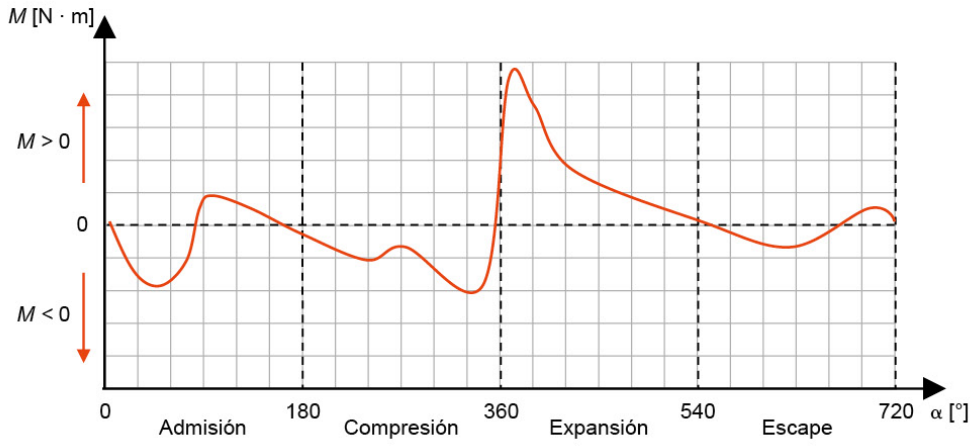


Figura 3.3. *Evolución del par en un motor monocilíndrico en función del ángulo de giro del cigüeñal.*

© Ediciones Paraninfo

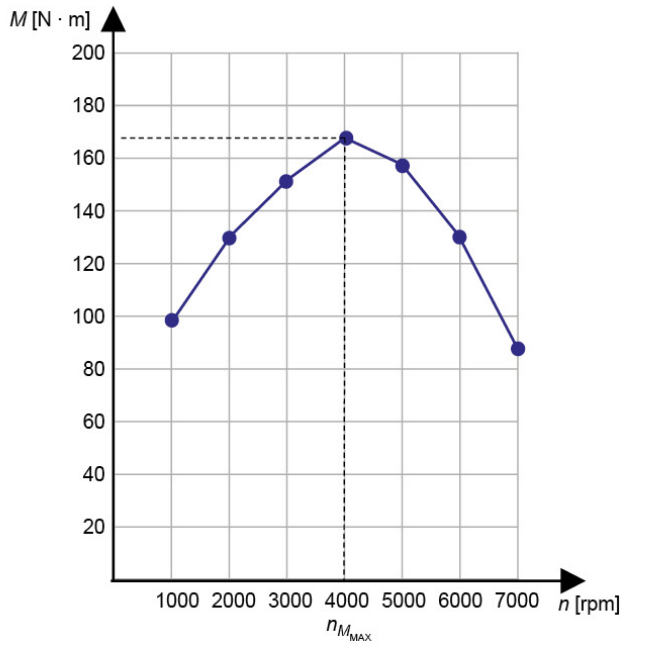


Figura 3.4. *Representación de la curva de par a plena carga en función del régimen de giro.*

Los frenos más usuales son:

- **El freno de fricción o freno Prony:** actualmente está en desuso y su rudimentario funcionamiento es el que muestra simplificadamente la Figura 3.5. El motor funciona con una velocidad de giro (n) y arrastra un árbol de transmisión que termina en un rotor (1). Sobre este rotor se aplican unas zapatas de freno (2) que se aproximan al rotor actuando sobre los tornillos de aproximación (3). La fuerza de fricción de las zapatas generará un momento de frenado (M_F) que hará girar a todo el sistema. En el extremo de la barra (4) de longitud l se aplica una fuerza (F), que multiplicada por la distancia de la barra, provocará un momento equilibrador M_E. La fuerza F se va aumentando (añadiendo pesas, por ejemplo) hasta conseguir que el sistema esté en equilibrio y no se mueva, manteniendo el motor su régimen de giro n. En ese momento ambos momentos están igualados y el par motor será el resultado de multiplicar la fuerza F por la longitud de la barra l.
- **Freno hidráulico o freno Froude:** el principio de funcionamiento es similar al del freno Prony pero se sustituyen las zapatas como elemento de fricción por el rozamiento del agua. Siguiendo la Figura 3.6, el motor mueve un

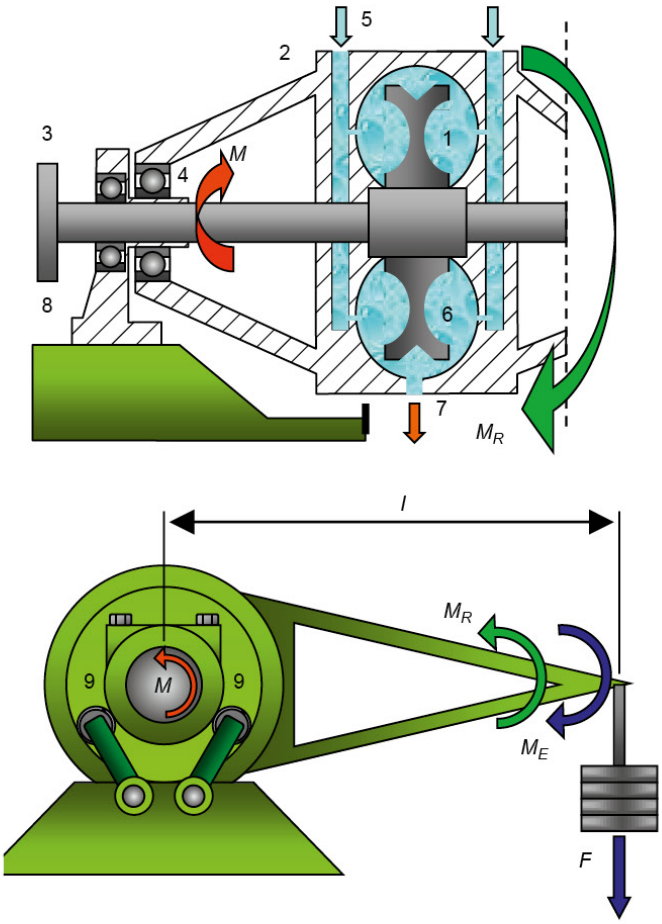


Figura 3.6. *Funcionamiento de un freno hidráulico.*

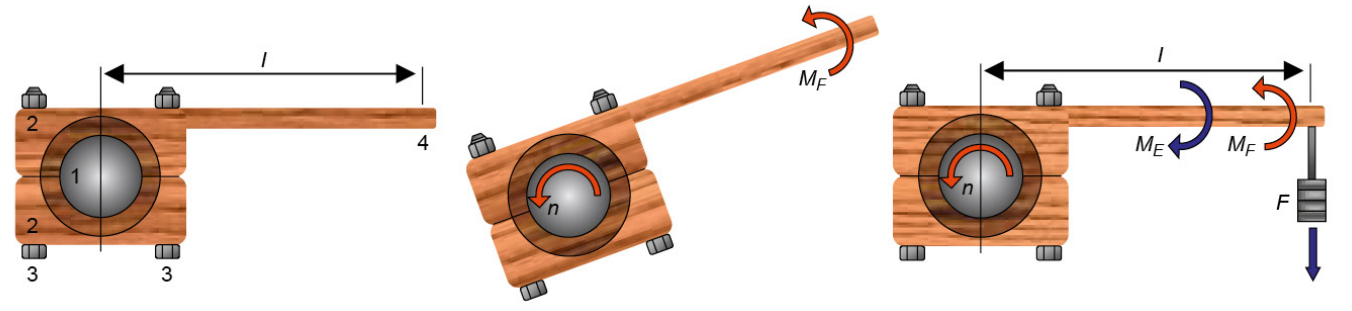


Figura 3.5. *Funcionamiento de un freno de fricción o freno Prony.*

© Ediciones Paraninfo

árbol de transmisión en cuyo extremo se encuentra un rotor (1) con unos álabes. Alrededor del rotor se sitúa un estator (2) que puede girar libremente sobre el árbol de transmisión (3) ya que se apoya sobre unos rodamientos (4). El agua entra a la carcasa del estator por los conductos (5), pasa al rotor a través de los conductos (6) y sale a mayor temperatura debida a la fricción por el conducto (7). Todo el conjunto se sustenta sobre una bancada (8), pudiéndose balancear el estator gracias a los rodillos (9). Tanto el estator como el rotor tienen unas cavidades formando una turbina. El motor transmite un par (M) y transmite el movimiento al rotor. El agua pasa de las cavidades del estator a las del rotor, pero este, debido a su movimiento giratorio la devuelve al estator de nuevo obligándola a seguir una trayectoria de torbellino hasta que sale del estator. El movimiento del agua se opone al giro del rotor generando una resistencia, que se traduce en una reacción en el estator o par de reacción (M_R), que lo hace bascular. El par de reacción será función del par desarrollado por el motor. Si se mide dicho par de reacción, se puede calcular el par desarrollado por el motor de manera similar a como se calculaba para el freno de fricción o freno Prony, colocando en la carcasa un brazo de palanca de longitud l donde se equilibra el par de reacción debido al rozamiento del agua con unas pesas calibradas colocadas en sus extremos, que con la fuerza debida a su peso (F) generan un momento de equilibrio (M_E).

- **Freno eléctrico:** en este tipo de frenos, el trabajo entregado por el motor a ensayar se convierte en energía eléctrica. La Figura 3.7 muestra los componentes de un freno eléctrico dinamométrico. El estator inductor (1) puede girar libremente alrededor del eje del rotor (2), al estar apoyado sobre dos rodamientos (3). Solidariamente al eje del rotor gira el inducido (4). A su vez, todo el conjunto es soportado por la bancada (5). A la carcasa del rotor se le une un brazo de palanca (6) de longitud l en cuyo extremo se colocan los pesos (7) que equilibran el par torsional, de la misma forma que se hacía en los frenos anteriores. Con el fin de equilibrar el sistema en reposo se disponen unos contrapesos (8). Cuando se pone en funcionamiento el motor térmico, el inducido tiende a arrastrar al estator debido a la acción magnética que tiene lugar en la generación de corriente por la dinamo. De esta forma se crea un par que ha de equilibrarse con los pesos situados en el extremo de la palanca. El resultado de multiplicar la fuerza de dichos pesos por la longitud del brazo de la palanca permite calcular el par de reacción, pudiéndose relacionar con el par motor entregado.

Hay diferentes tipos de frenos eléctricos. Uno de los más utilizados es el freno electromagnético, donde la potencia absorbida genera corrientes parásitas de Foucault que son disipadas en forma de calor, por lo que es necesario un sistema de refrigeración para el freno. Mediante la variación de la alimentación de las bobinas del estator se consigue la regulación del par resistente, pudiendo variar la carga del motor.

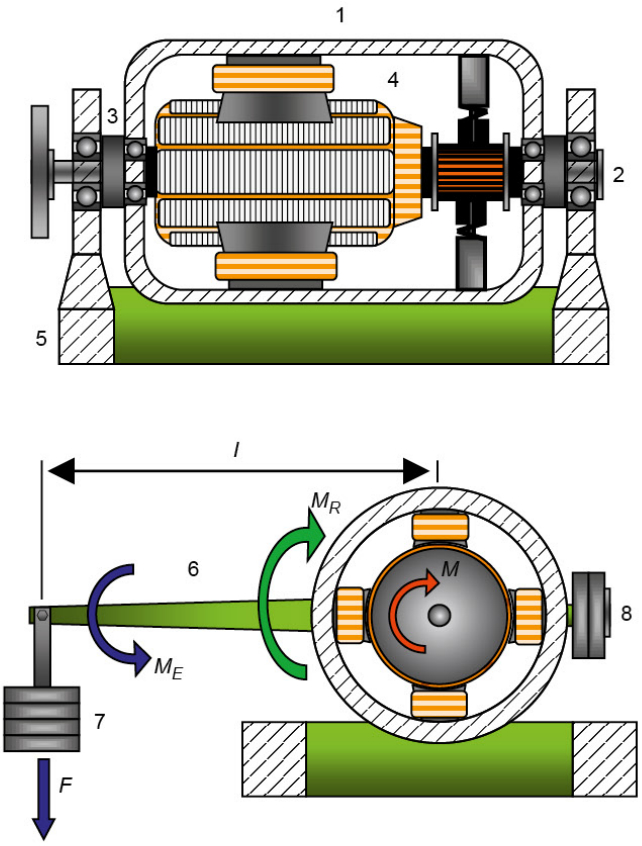


Figura 3.7. *Funcionamiento de un freno eléctrico.*

En muchos casos, los frenos eléctricos pueden funcionar también como motor y se emplean para mover el motor sin encendido, realizando las llamadas "pruebas de arrastre", que permiten calcular las pérdidas mecánicas del motor.

3.2.2. Potencia (N)

La potencia N se define como trabajo W realizado por unidad de tiempo t.

$$N = \frac{W}{t}$$

Donde:

N es la potencia, en watios (W).

W es el trabajo, en julios (J).

t es el tiempo, en segundos (s).

© Ediciones Paraninfo

Otra forma de expresar la potencia es la siguiente:

$$N = F \cdot v$$

Donde:

F es la fuerza, en N.

v es la velocidad, en $\frac{m}{s}$.

Efectivamente:

$$N[W] = F[N] \cdot v\left[\frac{m}{s}\right]$$

Como 1 J = 1 N · m, al operar las unidades vuelven a salir watios, que es unidad de potencia.

Puede observarse que, como 1 J = 1 N · m, se puede emplear el valor del par motor, también expresado en N · m, para calcular la potencia que está desarrollando el motor a un determinado régimen de giro. Lo que hay que hacer es convertir la frecuencia de giro, normalmente las rpm, a unidades de frecuencia angular, para obtener el tiempo que tarda en desarrollar el trabajo debido al par generado. Con lo cual, la fórmula general para calcular la potencia en máquinas rotativas es:

$$N = M \cdot \omega$$

Donde:

N es la potencia, en watios (W).

M es el par motor, en N · m.

ω es la frecuencia angular, en radianes por segundo $\left(\frac{rad}{s}\right)$.

La potencia suele expresarse en kilowatios (kW) o en caballos de vapor (CV). Para pasar de unas unidades a otras basta con aplicar los siguientes factores de conversión:

$$1\ kW = 1000\ W \qquad 1\ W = 10^{-3}\ kW$$

$$1\ CV = 735{,}5\ W \qquad 1\ W = 1{,}36 \cdot 10^{-3}\ CV$$

La potencia obtenida a partir del freno dinamométrico del banco de pruebas se conoce como potencia efectiva del motor (N_e) a un determinado régimen y carga del motor, siendo la potencia útil disponible en el cigüeñal.

La curva de potencia efectiva a plena carga que suele ofrecer el fabricante en las características técnicas del motor es la de la Figura 3.8, donde se puede extraer la potencia máxima que entrega el motor y a qué régimen de giro lo hace.

Un parámetro que sirve para establecer comparaciones entre diferentes motores es la potencia efectiva específica ($N_{e_{esp}}$), que es la relación que hay entre la potencia efectiva del motor y:

- **Su peso:** expresándose en kW/kg.
- **Su cilindrada:** dándose en kW/l.
- **El área de todos sus pistones:** formulándose en kW/m^2.

Recuerda que...

Una vuelta o revolución son 360° o 2π radianes.

$$1\ rev = 2\pi\ rad$$

El radián se considera adimensional, es decir, desde el punto de vista de las unidades es como si fuese 1 y no se opera.

Sabías que...

En el sistema inglés la potencia se mide en horsepower (HP) y la equivalencia con las unidades de potencia conocidas es la siguiente:

$$1\ CV = 735{,}5\ W = 0{,}986\ HP$$

$$1\ HP = 1{,}014\ CV = 745{,}7\ W$$

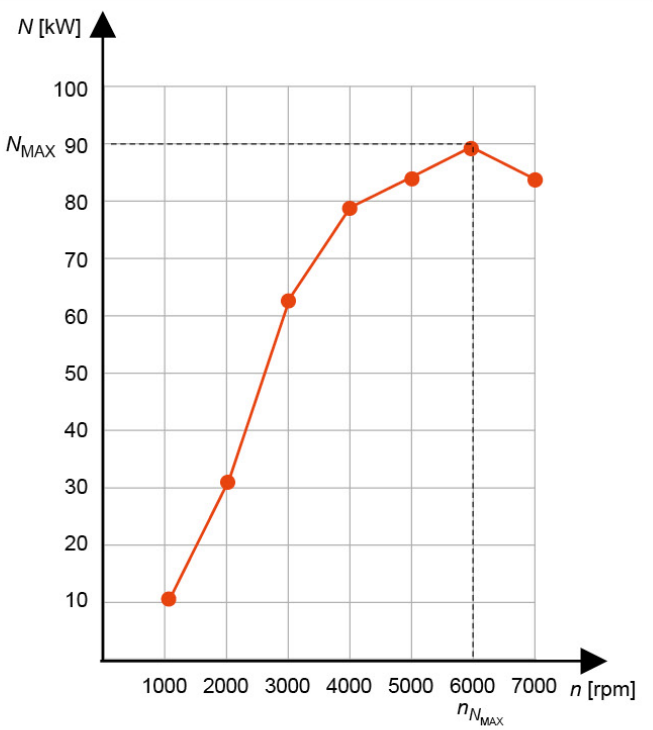


Figura 3.8. *Representación de la curva de potencia a plena carga en función del régimen de giro.*

© Ediciones Paraninfo

La tendencia actual a fabricar motores con potencias específicas elevadas se conoce como tecnología *downsizing*.

Actividad resuelta 3.2

Calcular la potencia que está desarrollando un motor, en kW y en CV, que está entregando un par de 150 N · m y que está girando a 3500 rpm.

Solución:

$$N = M \cdot \omega$$

$$N = 150[\text{N} \cdot \text{m}] \cdot 3500 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right] \cdot 2\pi \left[\frac{\text{rad}}{\text{rev}}\right] \cdot \frac{1}{60} \left[\frac{\text{min}}{\text{s}}\right]$$

Operando los valores numéricos y las unidades, resulta:

$$N = 54\,978 \text{ W}$$

Ahora hay que expresar la potencia en las unidades pedidas:

$$N = 54\,978\ [\text{W}] \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{kW}}{\text{W}}\right]$$

$$N = 54\,978\ [\text{W}] \cdot \frac{1}{735{,}50} \left[\frac{\text{CV}}{\text{W}}\right]$$

Luego el motor está entregando una potencia efectiva de 54,978 kW o 74,75 CV.

La tendencia actual es conseguir potencias específicas elevadas, es decir una alta potencia efectiva con un motor poco pesado y de poca cilindrada. Esto es posible, por ejemplo, con el empleo de la sobrealimentación.

3.2.3. Presión media efectiva (*pme*)

Una vez se ha obtenido la potencia efectiva se puede calcular la presión media efectiva por cada ciclo que se realiza en cada cilindro del motor. Anteriormente se definió el concepto de presión media indicada, que era el valor de la presión media en el cilindro a lo largo del ciclo. Pero esa presión media no se traduce directamente en trabajo debido a que parte de esa presión de los gases se invierte en vencer rozamientos, con lo cual, el parámetro que mide el nivel de aprovechamiento de la energía de los gases de la combustión es la presión media efectiva (*pme*), que se obtiene a partir de la potencia efectiva del motor (N_e). La presión media efectiva se calcula con la siguiente expresión:

$$pme = \frac{N_e}{V_T \cdot n \cdot i}$$

Los valores medios de presión media efectiva para motores empleados en automoción son:

- Para motores de gasolina: entre 8 y 14 kg/cm^2 pudiéndose superar este valor para vehículos deportivos a costa de una disminución de la fiabilidad.
- Para motores Diesel: entre 7 y 18 kg/cm^2, pudiendo superar este valor motores para uso industrial.

Actividad resuelta 3.3

Calcular la potencia que está desarrollando un motor, en kW, que está entregando un par de 13 m · kg y que está girando a 4200 rpm.

Solución:

Ahora hay que tener en cuenta que las unidades de par vienen en m · kg y hay que convertirlas a N · m.

$$N = M \cdot \omega$$

$$N = 13\ [\text{m} \cdot \text{kg}] \cdot 9{,}8 \left[\frac{\text{N}}{\text{kg}}\right] \cdot 4200 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right] \cdot 2\pi \left[\frac{\text{rad}}{\text{rev}}\right] \cdot \frac{1}{60} \left[\frac{\text{min}}{\text{s}}\right]$$

Operando los valores numéricos y las unidades, resulta:

$$N = 56\,033 \text{ W}$$

Expresando la potencia en las unidades pedidas:

$$N = 56\,033\ [\text{W}] \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{kW}}{\text{W}}\right]$$

$$N = 56{,}03 \text{ kW}$$

Luego el motor está entregando una potencia efectiva de 56,03 kW.

Donde:

N_e es la potencia efectiva, en W, kW o CV.

V_T es la cilindrada total, en cm^3.

n es el régimen de giro del motor, en rpm.

i es el número de ciclos por cada revolución, siendo $i = 1/2$ para motores de cuatro tiempos e $i = 1$ para motores de dos tiempos.

La presión media efectiva suele expresarse en $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, unidad que es casi equivalente a 1 bar. A partir de la fórmula de la *pme*, en función de las unidades en las que se den los parámetros necesarios, habrá que realizar las conversiones pertinentes para alcanzar las unidades objetivo de $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$.

© Ediciones Paraninfo

Actividad resuelta 3.4

Calcular la presión media efectiva que está desarrollando un motor de 4 tiempos de 1700 cm^3 de cilindrada que está entregando una potencia de 100 kW a 6000 rpm.

Solución:

Partiendo de la fórmula de la *pme*, se sustituyen los datos, sabiendo que al ser un motor de 4 tiempos *i* vale 1/2 al realizar medio ciclo por revolución:

$$pme = \frac{N_e}{V_T \cdot n \cdot i}$$

$$pme = \frac{100[\text{kW}]}{1700\,[\text{cm}^3] \cdot 6000\left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right] \cdot \frac{1}{2}\left[\frac{\text{ciclo}}{\text{rev}}\right]}$$

Pero al operar las unidades no resultan kg/cm^2, siendo necesario convertirlas apropiadamente. Teniendo en cuenta que 1 kW = 1000 W = 1000 $\frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\text{s}}$, 1kg =9,8N, 100 cm = 1 m y 1 min = 60 s, se opera de la siguiente forma:

$$pme = \frac{100[\text{kW}] \cdot 1000\left[\frac{\frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\text{s}}}{\text{kW}}\right] \cdot \frac{1}{9{,}8}\left[\frac{\text{kg}}{\text{N}}\right] \cdot 100\left[\frac{\text{cm}}{\text{m}}\right]}{1700\,[\text{cm}^3] \cdot 6000\left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right] \cdot \frac{1}{2}\left[\frac{\text{ciclo}}{\text{rev}}\right] \cdot \frac{1}{60}\left[\frac{\text{min}}{\text{s}}\right]}$$

Operando los valores numéricos y las unidades, resulta:

$$pme = 12{,}00\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Actividad resuelta 3.5

Calcular la presión media efectiva que está desarrollando un motor de 4 tiempos de 2.000 cm^3 de cilindrada que está entregando una potencia de 110 CV a 4200 rpm.

Solución:

Ahora hay que tener en cuenta que la potencia efectiva viene dada en CV y que 1 CV = 735,5 W = 735,5 $\frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\text{s}}$:

$$pme = \frac{N_e}{V_T \cdot n \cdot i}$$

$$pme = \frac{110[\text{CV}] \cdot 735{,}5\left[\frac{\frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\text{s}}}{\text{CV}}\right] \cdot \frac{1}{9{,}8}\left[\frac{\text{kg}}{\text{N}}\right] \cdot 100\left[\frac{\text{cm}}{\text{m}}\right]}{2000\,[\text{cm}^3] \cdot 4200\left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right] \cdot \frac{1}{2}\left[\frac{\text{ciclo}}{\text{rev}}\right] \cdot \frac{1}{60}\left[\frac{\text{min}}{\text{s}}\right]}$$

Operando los valores numéricos y las unidades, resulta:

$$pme = 11{,}79\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

© Ediciones Paraninfo

Actividad resuelta 3.6

Calcular la presión media efectiva que está desarrollando un motor de 4 tiempos de 3700 cm^3 de cilindrada que está entregando una par de 360 N · m a 5200 rpm.

Solución:

En este caso, se da como dato la cifra de par motor. Lo primero que hay que hacer es calcular la potencia desarrollada a ese régimen de giro a partir del par:

$$N = M \cdot \omega$$

$$N = 360[\text{N} \cdot \text{m}] \cdot 5200 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right] \cdot 2\pi \left[\frac{\text{rad}}{\text{rev}}\right] \cdot \frac{1}{60}\left[\frac{\text{min}}{\text{s}}\right]$$

$$N = 196.035 \text{ W}$$

El valor de la potencia, expresado en watios, la cilindrada total y el régimen de giro, se introduce en la fórmula de la presión media efectiva:

$$pme = \frac{N_e}{V_T \cdot n \cdot i}$$

$$pme = \frac{196\,035\left[\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}}\right] \cdot \frac{1}{9{,}8}\left[\frac{\text{kg}}{\text{N}}\right] \cdot 100\left[\frac{\text{cm}}{\text{m}}\right]}{3700\,[\text{cm}^3] \cdot 5200\left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right] \cdot \frac{1}{2}\left[\frac{\text{ciclo}}{\text{rev}}\right] \cdot \frac{1}{60}\left[\frac{\text{min}}{\text{s}}\right]}$$

Operando los valores numéricos y las unidades, resulta:

$$pme = 12{,}48 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Un combustible, ya sea gasolina o gasóleo, es un hidrocarburo (HC). Para la combustión de un hidrocarburo es necesario un comburente, el oxígeno (O_2) del aire, y una cierta cantidad de calor (Q). En condiciones ideales, la combustión perfecta de un hidrocarburo genera como únicos productos dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O).

$$HC + O_2 + Q \rightarrow CO_2 + H_2O$$

Para que se dé esta reacción perfecta es necesaria una relación adecuada de la masa de combustible con respecto a la masa de aire, siendo esta relación la relación estequiométrica.

3.2.4. Dosado (F)

El dosado es la relación combustible-aire empleada en el proceso de combustión. En algunos países en vez de la relación combustible-aire se emplea la relación aire-combustible, nombrándose este dosado con la letra A. Se distinguen tres tipos de dosado:

- **Dosado absoluto (F):** es la relación combustible-aire que está alimentando el motor en cada momento, siendo un parámetro que puede variar en el tiempo.

$$F = \frac{m_f}{m_a}$$

Donde:

F es el valor del dosado y no tiene unidades.

m_f es la masa de combustible admitida, en kg o g.

m_a es la masa de aire admitida, en kg o g.

- **Dosado estequiométrico (F_e):** es la relación estequiométrica combustible-aire que genera la reacción perfecta, es decir, cuyos únicos productos de la combustión son CO_2 y H_2O. Es un parámetro fijo que toma un valor para motores de gasolina y otro para motores diésel.

$$F_e = \left(\frac{m_f}{m_a}\right)_e$$

$$F_e = \frac{1}{14{,}66} \approx \frac{1}{14{,}7} \text{ para motores de gasolina.}$$

$$F_e = \frac{1}{14{,}54} \approx \frac{1}{14{,}5} \text{ para motores diésel.}$$

- **Dosado relativo (F_R):** es la relación entre el dosado absoluto y el estequiométrico. Este dosado informa acerca del tipo de mezcla que está utilizando el motor.

$$F_R = \frac{F}{F_e}$$

© Ediciones Paraninfo

Pueden darse tres casos:

$F_R > 1$, existiendo un exceso de combustible, siendo la mezcla rica.

$F_R = 1$, siendo la mezcla estequiométrica.

$F_R < 1$, existiendo un defecto de combustible, siendo la mezcla pobre.

Si se emplea la otra notación, es decir, $A = \frac{m_a}{m_f}$, $A_e = \left(\frac{m_a}{m_f}\right)_e$, y $A_R = \frac{A}{A_e}$, los valores salen cambiados, es decir $A_R > 1$ será una mezcla pobre y $A_R < 1$ será una mezcla rica. El parámetro A_R se conoce también como factor lambda (λ).

Actividad resuelta 3.7

Un motor de gasolina está admitiendo 1 g de combustible por cada 15 g de aire. Sabiendo que su dosado estequiométrico es F_e = 1/14,7, decir con qué tipo de mezcla está trabajando el motor.

Solución:

El dosado absoluto para esas condiciones de funcionamiento es:

$$F = \frac{m_f}{m_a} = \frac{1}{15}$$

El dosado estequiométrico es:

$$F_e = \left(\frac{m_f}{m_a}\right)_e = \frac{1}{14,7}$$

El dosado relativo es:

$$F_R = \frac{F}{F_e} = \frac{\frac{1}{15}}{\frac{1}{14,7}} = 0,98$$

Dado que $F_R < 1$, el motor está trabajando con mezcla pobre, es decir, con defecto de combustible.

3.2.5. Consumo específico (c_e)

El consumo específico es el gasto másico de combustible que tiene el motor en determinadas condiciones de funcionamiento por cada kW de potencia entregado y por cada hora de funcionamiento.

$$c_e = \frac{\dot{m}_f}{N_e}$$

Donde:

c_e es el consumo específico, en $\frac{g}{kWh}$ o $\frac{kg}{kWh}$.

$\dot{m}_f$ es la masa de combustible consumida por unidad de tiempo, en $\frac{g}{h}$ o $\frac{kg}{h}$.

N_e es la potencia efectiva, en kW.

El cálculo del consumo específico de combustible se realiza en un banco de pruebas, donde la potencia a un determinado régimen de giro y nivel de carga se calcula de la forma descrita en apartados anteriores y el consumo horario de combustible se calcula a través de dos posibles métodos:

- **Método volumétrico:** consiste en medir el tiempo necesario para consumir un volumen conocido de combustible. Para ello es necesaria una probeta graduada en paralelo con el depósito de combustible y un reloj. Esto es posible realizarlo tanto mecánica como electrónicamente. El problema que presenta este tipo de medidores es que para conocer el consumo es necesario multiplicar el volumen por la densidad, siendo esta función de la temperatura y variable entre diferentes muestras de combustible utilizado. Es por este motivo por lo que este tipo de ensayos se utiliza en bancos donde no es necesaria la precisión de la medida.
- **Método gravimétrico:** este método es utilizado para ensayos de certificación o cuando el banco de pruebas está destinado a la investigación y desarrollo del motor. Consiste en medir el tiempo empleado en consumir una masa conocida de combustible existente en una balanza de precisión. Hay medidores que realizan el pesado del combustible y la determinación del tiempo que tarda en consumirse el mismo. Con este método, la medida no se ve afectada por las variaciones de temperatura del combustible, que provocan también variaciones en su densidad. Actualmente existen medidores que operan en continuo, indicando el caudal másico instantáneo, y se llaman medidores gravimétricos dinámicos.

Si se toma el método volumétrico, el cálculo del consumo horario de combustible se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$\dot{m}_f = \frac{V}{t} \cdot \rho_c$$

Recuerda que...

1 h = 60 min = 3600 s

© Ediciones Paraninfo

Donde:

$\dot{m}_f$ es la masa de combustible por unidad de tiempo, en $\frac{g}{h}$.

V es el volumen de la probeta, en l.

t es el tiempo que tarda en vaciarse la probeta, en h.

ρ_c es la densidad del combustible, en $\frac{g}{cm^3}$.

De esta manera, la expresión del consumo específico de combustible queda de la siguiente forma:

$$c_e = \frac{\dot{m}_f}{N_e} = \frac{\frac{V}{t} \cdot \rho_c}{N_e}$$

Actividad resuelta 3.8

Se está probando un motor en banco y a un determinado régimen de giro y grado de carga entrega 32 kW, tardando 30,5 s en consumir 100 cm^3 de combustible. Sabiendo que la densidad del combustible es de 0,73 g/cm^3, calcular su consumo específico.

Solución:

Aplicando la fórmula del consumo específico, se tienen todos los datos, pero para expresar el resultado en g/kWh, hay que pasar los segundos a horas:

$$c_e = \frac{\dot{m}_f}{N_e} = \frac{\frac{V}{t} \cdot \rho_c}{N_e} = \frac{\frac{100[cm^3]}{30,5[s] \cdot \frac{1}{3600}\left[\frac{h}{s}\right]} \cdot 0,73\left[\frac{g}{cm^3}\right]}{32[kW]}$$

Operando los valores numéricos y las unidades, resulta:

$$c_e = 269,26 \frac{g}{kWh}$$

Lo que significa que por cada kW que entrega el motor y por cada hora de funcionamiento, el motor consume 269,26 g de combustible.

3.2.6. Rendimiento efectivo (η_e)

El rendimiento efectivo de un motor mide el grado de aprovechamiento del motor en relación al combustible empleado, es decir, relaciona la potencia efectiva empleada con la potencia del combustible. Su expresión es la siguiente:

$$\eta_e = \frac{N_e}{\dot{m}_f \cdot H_C}$$

Donde:

η_e es el rendimiento efectivo, sin unidades, expresado en tanto por uno o en tanto por ciento si el resultado se multiplica por 100.

N_e es la potencia efectiva del motor, en kW.

$\dot{m}_f$ es la masa de combustible consumida por unidad de tiempo, en $\frac{kg}{s}$.

H_C es el poder calorífico del combustible, en $\frac{kJ}{kg}$.

Según la expresión anterior, en el numerador aparece la potencia, expresada en kW y en el denominador el producto de la masa de combustible por unidad de tiempo por el poder calorífico del mismo. Si se opera el denominador, resulta que $\frac{kg}{s} \cdot \frac{kJ}{kg} = \frac{kJ}{s}$, y, dado que $1\ W = 1\ \frac{J}{s}$, la unidad resultante es kW, siendo la potencia del combustible aportado. Con lo cual el rendimiento efectivo no tiene unidades y será siempre inferior a la unidad o al 100 %, según se exprese, porque la potencia del combustible no se transforma totalmente en potencia efectiva, sino que hay pérdidas de calor, rozamientos, combustión incompleta…

Normalmente, el rendimiento efectivo máximo de los motores solo se alcanza en determinadas condiciones de régimen de giro y grado de carga, siendo este valor de 0,25-0,35 (25 %-35 %) en los motores de gasolina y de 0,30-0,50 (30 %-50 %) en los motores diésel, aproximadamente.

Actividad resuelta 3.9

Se está probando un motor en banco y a un determinado régimen de giro y grado de carga entrega 72 kW, consumiendo una masa de combustible por unidad de tiempo de 0,006 kg/s. Calcular:

a) El rendimiento efectivo del motor sabiendo que el poder calorífico del combustible es de 42 000 kJ/kg.

b) El rendimiento térmico teórico sabiendo que es un motor de gasolina con relación de compresión de 9,3:1.

c) Comparar ambos resultados.

Solución:

a) Aplicando la fórmula del rendimiento efectivo, se tiene que:

$$\eta_e = \frac{N_e}{\dot{m}_f \cdot H_C} = \frac{72[kW]}{0,006\left[\frac{kg}{s}\right] \cdot 42\ 000\left[\frac{kJ}{kg}\right]}$$

$$\eta_e = 0,2857 = 28,57\ \%$$

(Continúa)

© Ediciones Paraninfo

b) Recordando la fórmula del rendimiento térmico teórico, conociendo la relación de compresión y sabiendo que al ser un motor de gasolina el coeficiente adiabático es de 1,33, se tiene que:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} = 1 - \frac{1}{9{,}3^{1{,}33-1}}$$

$$\eta_t = 0{,}5209 = 52{,}09\ \%$$

c) A la vista de los resultados y como era esperable, el rendimiento efectivo es menor que el térmico teórico, ya que este era el máximo al que podía aspirar una máquina térmica que trabaja con una determinada relación de compresión. Como en un motor real las transformaciones termodinámicas no son reversibles, hay pérdidas de calor, la combustión es incompleta y existen rozamientos, el rendimiento térmico real es mucho menor que el teórico.

3.2.7. Elasticidad (*E*)

La elasticidad de un motor es un parámetro objetivo que mide el grado de aprovechamiento del mismo según evoluciona el régimen de giro. Un motor ideal ofrecería su par máximo en todo el rango de revoluciones a las que puede funcionar, pero en realidad no ocurre así, ya que el par motor tiene un valor máximo a un determinado régimen de giro. Por debajo y por encima de ese régimen el par disminuye, ya que el llenado del motor es menos eficiente, y por tanto su rendimiento es menor.

Intuitivamente, la elasticidad se puede entender como la capacidad de respuesta que tiene el motor cuando se le demanda potencia a bajo y medio régimen, es decir, si se comparan dos motores que se montan en vehículos iguales en cuanto a peso y relaciones de transmisión del cambio, será más elástico el motor que permita recuperar y acelerar enérgicamente sin necesidad de recurrir en exceso al cambio de marchas. Con lo cual, cuanto más elástico sea el motor, mejor será su comportamiento ante variaciones de carga.

La elasticidad mide la relación que hay entre la entrega de potencia del motor a bajas y medias revoluciones en comparación con la que entrega a altas revoluciones, en condiciones de plena carga, y su expresión es la siguiente:

$$E = \frac{M_{máx}}{M_{N_{máx}}} \cdot \frac{n_{N_{máx}}}{n_{M_{máx}}}$$

Donde:

E es la elasticidad, sin unidades.

$M_{máx}$ es el par máximo que entrega el motor, en N · m o m · kg.

$M_{N_{máx}}$ es el par máximo que entrega el motor al régimen de potencia máxima, en N · m o m · kg .

$n_{N_{máx}}$ es el régimen de giro del motor a la potencia máxima, en rpm.

$n_{M_{máx}}$ es el régimen de giro del motor al par máximo, en rpm.

Cuando la elasticidad tiene un valor inferior a 2, el motor se considera poco elástico, entre 2 y 2,5 tiene una elasticidad media y por encima de 2,5 es muy elástico.

A la vista de la expresión de la elasticidad se puede deducir que un motor es más elástico cuanto menor sea la diferencia entre su par máximo y su par a la potencia máxima y mayor sea la diferencia entre el régimen de potencia máxima y el régimen de par máximo. La Figura 3.9 muestra dos gráficas de par y potencia de dos motores diferentes, uno más elástico (A) y otro menos elástico (B), así como los puntos necesarios para introducir en la fórmula de la elasticidad.

Actividad resuelta 3.10

Calcular la elasticidad de los motores cuyas curvas de par y potencia están representadas en la Figura 3.9:

Solución:

La fórmula de la elasticidad es:

$$E = \frac{M_{máx}}{M_{N_{máx}}} \cdot \frac{n_{N_{máx}}}{n_{M_{máx}}}$$

Para el motor A:

$$E = \frac{140\,[\text{N}\cdot\text{m}]}{120\,[\text{N}\cdot\text{m}]} \cdot \frac{6000\,[\text{rpm}]}{3000\,[\text{rpm}]}$$

$$E = 2{,}33$$

Para el motor B:

$$E = \frac{170\,[\text{N}\cdot\text{m}]}{130\,[\text{N}\cdot\text{m}]} \cdot \frac{6000\,[\text{rpm}]}{4000\,[\text{rpm}]}$$

$$E = 1{,}96$$

Con lo cual, el motor A es más elástico que el motor B.

Actividad resuelta 3.11

De un motor se conocen las siguientes características técnicas:

Par máximo: $M_{máx} = 280$ N · m a 1700 rpm

Potencia máxima: $N_{máx} = 200$ CV a 5100 rpm

Calcular su elasticidad.

© Ediciones Paraninfo

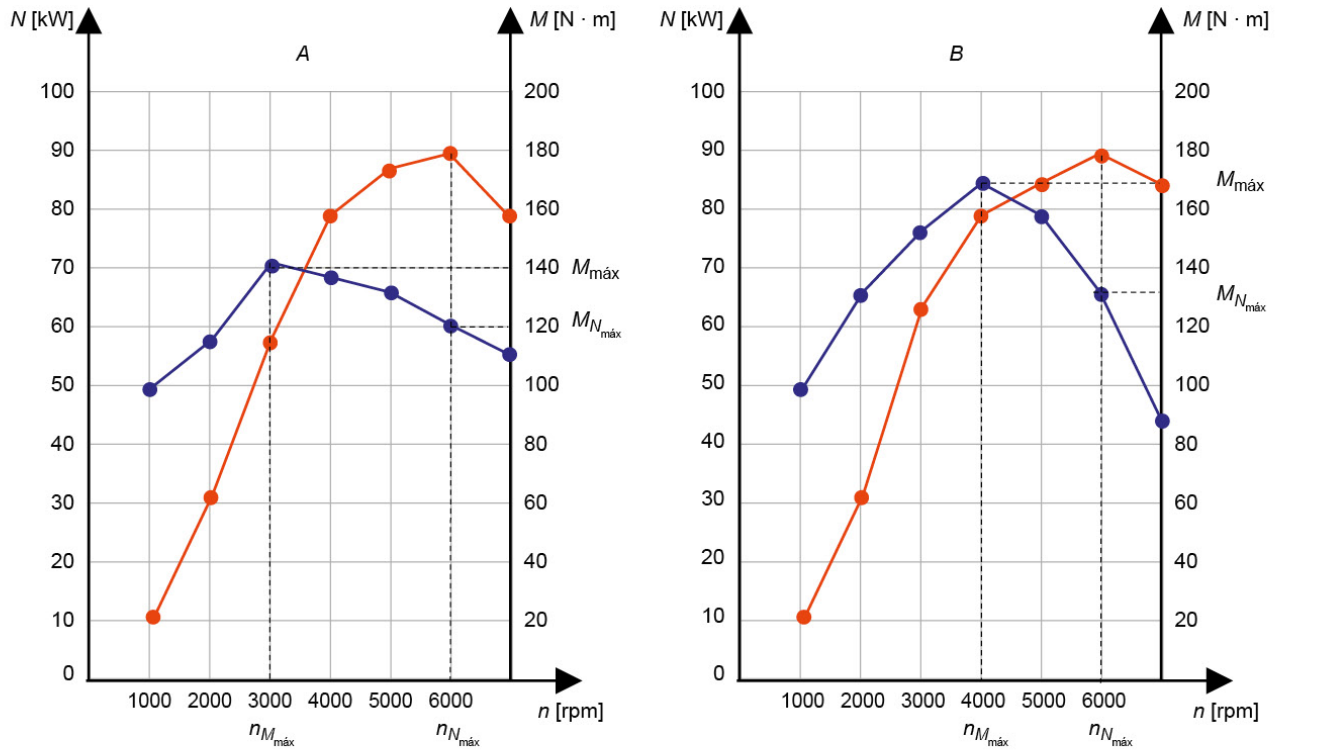


Figura 3.9. *Comparación de las curvas de par y potencia a plena carga para dos motores distintos. El motor A es más elástico que el motor B.*

Solución:

A la vista de las características técnicas dadas, se tienen todos los datos para calcular la elasticidad menos el par a la potencia máxima, que se calcula de la siguiente forma:

$$N = M \cdot \omega \quad \Rightarrow \quad M = \frac{N}{\omega} = \frac{200[\text{CV}] \cdot 735{,}5\left[\frac{\frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\text{s}}}{\text{CV}}\right]}{5100\left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right] \cdot 2\pi\left[\frac{\text{rad}}{\text{rev}}\right] \cdot \frac{1}{60}\left[\frac{\text{min}}{\text{s}}\right]}$$

$$M = 275{,}43\ \text{N}\cdot\text{m}$$

Ahora solo hay que aplicar la fórmula de la elasticidad:

$$E = \frac{M_{máx}}{M_{N_{máx}}} \cdot \frac{n_{N_{máx}}}{n_{M_{máx}}} = \frac{280[\text{N}\cdot\text{m}]}{275{,}43[\text{N}\cdot\text{m}]} \cdot \frac{5100\,[\text{rpm}]}{1700\,[\text{rpm}]}$$

$$E = 3{,}05$$

Con el resultado obtenido se puede decir que el motor es muy elástico.

3.2.8. Velocidad lineal media del pistón (c_m)

Un parámetro importante desde el punto de vista de diseño de un motor es la velocidad media del pistón, ya que influye directamente en la durabilidad del mismo. Cuanto más rápido gire el motor, significa que el pistón se desplaza más rápidamente a lo largo de su carrera y, por tanto, aumentando el desgaste. Debido a esto, para evitar una degeneración prematura del motor, el valor de la velocidad media máxima del pistón suele ser inferior a 18 m/s.

La velocidad lineal media del pistón se expresa de la siguiente forma:

$$c_m = 2 \cdot S \cdot n$$

Donde:

c_m es la velocidad lineal media del pistón, en $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

S es la carrera del pistón, en m.

n es el régimen de giro, en rpm.

En un motor alternativo, como muestra la Figura 3.10, por cada vuelta de giro del cigüeñal, el pistón ha recorrido dos veces su carrera, una en sentido ascendente y otra en sentido descendente, con lo cual $2 \cdot S$ son los metros que recorre el pistón en cada revolución. Si se conoce el régimen de giro n, se pueden saber las revoluciones por unidad de tiempo a las que está funcionando, siendo conveniente para calcular la velocidad lineal media del pistón expresarlas en revoluciones por segundo. De esta forma se obtiene

© Ediciones Paraninfo

Hay que tener en cuenta que la velocidad lineal del pistón es, como su propio nombre indica, una velocidad media, ya que su valor es 0 en el PMS y 0 en el PMI, con lo que su valor máximo se da en un determinado punto de la carrera y es muy superior al valor medio.

el resultado en $\frac{m}{s}$, como se puede deducir operando las unidades:

$$c_m\left[\frac{m}{s}\right] = 2 \cdot S\left[\frac{m}{rev}\right] \cdot n\left[\frac{rev}{s}\right]$$

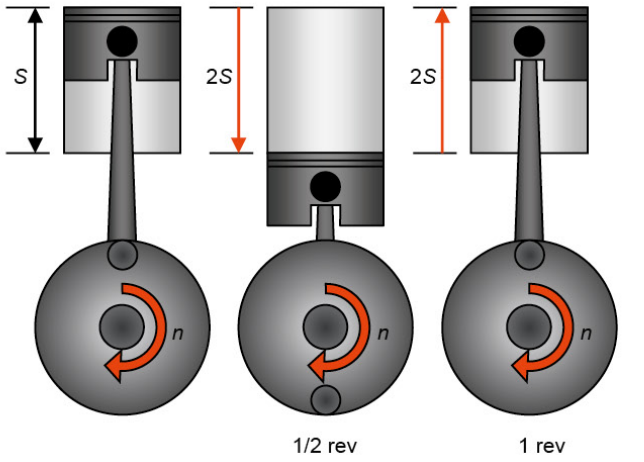


Figura 3.10. *Representación de las carreras realizadas por el pistón en función del giro del cigüeñal.*

Actividad resuelta 3.12

Para un motor cuya carrera es de 70 mm:

a) Calcular su velocidad media del pistón cuando gira a 7000 rpm.

b) Expresar el resultado anterior en km/h.

Solución:

a) Aplicando la fórmula de la velocidad lineal media del pistón y cambiando las unidades de forma conveniente:

$$c_m = 2 \cdot S \cdot n$$

$$c_m = 2 \cdot 70\left[\frac{mm}{rev}\right] \cdot 10^{-3}\left[\frac{m}{mm}\right] \cdot 7000\left[\frac{rev}{min}\right] \cdot \frac{1}{60}\left[\frac{min}{s}\right]$$

$$c_m = 16{,}33\ \frac{m}{s}$$

Con lo cual la velocidad lineal media del pistón de ese motor al régimen de 7000 rpm es de 16,33 m/s.

b) Para expresar la velocidad en km/h hay que convertir las unidades de la siguiente forma:

$$c_m = 16{,}33\left[\frac{m}{s}\right] \cdot 10^{-3}\left[\frac{km}{m}\right] \cdot 3600\left[\frac{s}{h}\right]$$

$$c_m = 58{,}79\ \frac{km}{h}$$

La velocidad lineal media del pistón es de 58,79 km/h, moviéndose a lo largo de una carrera de 70 mm y alcanzando en el PMS y en el PMI un valor de 0, lo que permite imaginar la gran rapidez de movimiento de este elemento del motor y la velocidad máxima que puede llegar a alcanzar en un determinado punto de la carrera.

Actividad resuelta 3.13

Sabiendo que un motor tiene una carrera de 80 mm y que para que no sufra excesivo desgaste la velocidad lineal media máxima del pistón debe ser inferior a 18 m/s, calcular a qué régimen de giro hay que establecer el corte de inyección, en rpm.

Solución:

Con los datos del enunciado, basta con despejar el régimen de giro de la fórmula de la velocidad lineal media del pistón:

$$c_m = 2 \cdot S \cdot n \quad \Rightarrow \quad n = \frac{c_m}{2 \cdot S}$$

$$n = \frac{18\left[\frac{m}{s}\right]}{2 \cdot 80\left[\frac{mm}{rev}\right] \cdot 10^{-3}\left[\frac{m}{mm}\right]} = 112{,}5\ \frac{rev}{s}$$

Como el régimen de giro hay que expresarlo en rpm, se convierten las unidades de la siguiente forma:

$$n = 112{,}5\left[\frac{rev}{s}\right] \cdot 60\left[\frac{s}{min}\right]$$

$$n = 6750\ \text{rpm}$$

Según los cálculos, habrá que establecer el corte de inyección a 6750 rpm ya que por encima de ese régimen el desgaste del motor es excesivo.

3.3. Obtención de las curvas características de un motor

Con el fin de tener una visión global de todos los parámetros de funcionamiento de un motor de combustión interna, a continuación se va a realizar un ejercicio donde, a

© Ediciones Paraninfo

partir de los datos obtenidos en banco de ensayos, se van a calcular el resto de parámetros fundamentales del motor.

Se tiene un motor de gasolina de cuatro tiempos cuyas características técnicas ofrecidas por el fabricante son las siguientes:

Cilindrada total: $V_T = 1360\ \text{cm}^3$.

Diámetro: $D = 75$ mm.

Carrera: $S = 77$ mm.

Relación de compresión: $r = 9{,}5{:}1$.

Potencia máxima efectiva: $N_e = 55$ kW a 6000 rpm.

Par máximo: $M = 122\ \text{N} \cdot \text{m}$ a 4000 rpm.

Se han obtenido los siguientes valores en banco de ensayos en cuanto a par motor entregado y tiempo en consumir 100 cm^3 de combustible de un pluviómetro, en función del régimen de giro y estando el motor a plena carga:

n [rpm]	M [N · m]	t en consumir 100 cm^3 [s]
6000	100	13,6
5000	108	16,3
4000	112	22,5
3000	105	31,8
2000	93	51,0
1000	58	162,5

Las condiciones atmosféricas durante toda la prueba fueron las siguientes:

$T_{\text{ambiente}} = 26\ ^\circ\text{C}$.

$P_{\text{atm}} = 715$ mmHg.

Además se conocen los siguientes datos:

Densidad del combustible: $\rho_c = 0{,}76$ kg/l.

Poder calorífico del combustible: $H_C = 42\ 000$ kJ/kg.

Coeficiente adiabático: $\gamma = 1{,}33$.

Calcular:

a) Para cada régimen de giro, la potencia efectiva que está entregando el motor (N), en kW y el consumo específico (c_e), en g/kWh.

b) Para cada régimen de giro, los valores corregidos en función de las condiciones atmosféricas del par (M_{corr}), potencia efectiva (N_{corr}) y consumo específico ($c_{e\,\text{corr}}$).

c) La elasticidad del motor.

d) Para cada régimen de giro, la presión media efectiva (pme), en kg/cm^2, el rendimiento efectivo (η_e) y la velocidad lineal media del pistón (c_m), en m/s.

e) Rendimiento térmico teórico y compararlo con los valores de rendimiento efectivo obtenidos en el apartado anterior.

f) Representar en función del régimen de giro las curvas de par corregido (M_{corr}), potencia corregida (N_{corr}), consumo específico corregido ($c_{e\,\text{corr}}$), presión media efectiva (pme), rendimiento efectivo (η_e), velocidad lineal media del pistón (c_m) y extraer las conclusiones pertinentes.

Solución:

a) Para calcular la potencia entregada por el motor en cada punto de funcionamiento hay que aplicar la siguiente fórmula:

$$N = M \cdot \omega$$

$$N = M\,[\text{N} \cdot \text{m}] \cdot n \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right] \cdot 2\pi \left[\frac{\text{rad}}{\text{rev}}\right] \cdot \frac{1}{60} \left[\frac{\text{min}}{\text{s}}\right] \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{kW}}{\text{W}}\right]$$

Como hay que realizar la misma operación para cada punto de funcionamiento del motor, resulta más cómodo dejar todo en función de los parámetros que van a ir variando, en este caso M y n, y agrupar las constantes numéricas:

$$N = 0{,}105 \cdot 10^{-3} \cdot M\,[\text{N} \cdot \text{m}] \cdot n \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right]$$

Sustituyendo los valores de régimen de giro y par en la fórmula, se obtiene la columna de potencia efectiva, en kW.

n [rpm]	M [N · m]	N [kW]
6000	100	63,0
5000	108	56,7
4000	112	47,0
3000	105	33,1
2000	93	19,5
1000	58	6,1

Para calcular el consumo específico se procede de la siguiente forma:

$$c_e = \frac{\dot{m}_f}{N_e} = \frac{\frac{V}{t} \cdot \rho_c}{N_e} = \frac{\frac{100\,[\text{cm}^3]}{t[\text{s}] \cdot \frac{1}{3600}\left[\frac{\text{h}}{\text{s}}\right]} \cdot 0{,}76 \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right]}{N\,[\text{kW}]}$$

$$c_e = \frac{273\ 600}{t[\text{s}] \cdot N\,[\text{kW}]}$$

Sustituyendo los valores de tiempo en consumir 100 cm^3 y de potencia en la fórmula, resulta la columna de consumo específico, en g/kWh.

© Ediciones Paraninfo

n [rpm]	t en consumir 100 cm^3 [s]	N [kW]	c_e [g/kWh]
6000	13,6	63,0	319,3
5000	16,3	56,7	296,0
4000	22,5	47,0	258,7
3000	31,8	33,1	260,0
2000	51,0	19,5	275,1
1000	162,5	6,1	276,0

b) Con el fin de que las características técnicas sean comparables entre motores distintos, los ensayos se normalizan a la presión atmosférica del nivel del mar y a la temperatura ambiente de 20 °C, según la norma DIN. Como el motor ensayado no está en esas condiciones atmosféricas, hay que aplicar un factor de corrección cuya expresión es la siguiente:

$$k = \frac{760}{P_{\text{atm mmHg}}} \cdot \sqrt{\frac{273 + T_{\text{ambiente °C}}}{293}}$$

Para el caso de las condiciones atmosféricas dadas, el factor de corrección es el siguiente:

$$k = \frac{760}{715} \cdot \sqrt{\frac{273 + 26}{293}} = \frac{760}{715} \cdot \sqrt{\frac{299}{293}}$$

$$k = 1{,}074$$

El factor de corrección se aplica a los diferentes parámetros de la forma mostrada a continuación:

$$M_{\text{corr}} = k \cdot M \qquad N_{e\,\text{corr}} = k \cdot N_e \qquad c_{e\,\text{corr}} = \frac{c_e}{k}$$

Aplicando el factor de corrección en las columnas de par, potencia y consumo específico, se tienen los valores de la Tabla 3.1.

c) Para calcular la elasticidad del motor basta con buscar en la tabla los valores necesarios para introducir en la fórmula. Daría lo mismo tomar los valores de par corregidos o sin corregir, ya que se multiplica y divide por el factor de corrección y el resultado es el mismo, pero una vez calculados los valores corregidos, se toman estos para el resto de cálculos. Se toman los valores de la tabla y no los del fabricante porque se quieren calcular los parámetros del motor a ensayar, cuyo estado y horas de funcionamiento se desconocen, mientras que los datos del fabricante corresponden al valor medio que tienen sus motores cuando están nuevos o recién terminado el periodo de rodaje.

$$E = \frac{M_{\text{máx}}}{M_{N_{\text{máx}}}} \cdot \frac{n_{N_{\text{máx}}}}{n_{M_{\text{máx}}}}$$

$$E = \frac{120{,}3\,[\text{N} \cdot \text{m}]}{107{,}4\,[\text{N} \cdot \text{m}]} \cdot \frac{6000\ [\text{rpm}]}{4000\ [\text{rpm}]}$$

$$E = 1{,}68$$

Con lo cual, la elasticidad de este motor es de 1,68, indicando que no es muy elástico.

d) Para calcular el resto de parámetros se procede de la siguiente manera:

Presión media efectiva (pme):

$$pme = \frac{N_e}{V_T \cdot n \cdot i}$$

$$pme = \frac{N[\text{kW}] \cdot \frac{1}{9{,}8}\left[\frac{\text{kg}}{\text{N}}\right] \cdot 100\left[\frac{\text{cm}}{\text{m}}\right] \cdot 10^3\left[\frac{\text{W}}{\text{kW}}\right]}{1360\ [\text{cm}^3] \cdot n\left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right] \cdot \frac{1}{2}\left[\frac{\text{ciclo}}{\text{rev}}\right] \cdot \frac{1}{60}\left[\frac{\text{min}}{\text{s}}\right]}$$

$$pme = 900{,}36 \cdot \frac{N[\text{kW}]}{n[\text{rpm}]}$$

Rendimiento efectivo (η_e):

$$\eta_e = \frac{N_e}{\dot{m}_f \cdot H_C} = \frac{N[\text{kW}]}{\frac{V}{t} \cdot \rho_c \cdot H_C} \cdot 100\ \%$$

$$\eta_e = \frac{N[\text{kW}]}{\frac{100[\text{cm}^3]}{t[\text{s}]} \cdot 0{,}76\left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right] \cdot 10^{-3}\left[\frac{\text{kg}}{\text{g}}\right] \cdot 42\,000\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]} \cdot 100\ \%$$

$$\eta_e = 3{,}13 \cdot 10^{-4} \cdot N[\text{kW}] \cdot t[\text{s}] \cdot 100\ \%$$

TABLA 3.1

n [rpm]	M [N · m]	N [kW]	c_e [g/kWh]	M_{corr} [N · m]	N_{corr} [kW]	$c_{e\,\text{corr}}$ [g/kWh]
6000	100	63,0	319,3	107,4	67,6	297,4
5000	108	56,7	296,0	116,0	60,9	275,7
4000	112	47,0	258,7	120,3	50,5	240,9
3000	105	33,1	260,0	112,8	35,5	242,1
2000	93	19,5	275,1	99,9	20,9	256,2
1000	58	6,1	276,0	62,3	6,5	257,0

© Ediciones Paraninfo

Velocidad lineal media del pistón (c_m):

$$c_m = 2 \cdot S \cdot n$$

$$c_m = 2 \cdot 77 \left[\frac{\text{mm}}{\text{rev}}\right] \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{m}}{\text{mm}}\right] \cdot n \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right] \cdot \frac{1}{60} \left[\frac{\text{min}}{\text{s}}\right]$$

$$c_m = 2{,}57 \cdot 10^{-3} \cdot n\,[\text{rpm}]$$

Aplicando las expresiones anteriores y empleando los valores de la Tabla 3.2 se obtiene para cada régimen de giro del motor el valor de *pme*, η_e y c_m:

e) Con la relación de compresión y el coeficiente adiabático se puede calcular el rendimiento térmico teórico η_t:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{\gamma - 1}} = 1 - \frac{1}{9{,}5^{1{,}33-1}}$$

$$\eta_t = 52{,}4\ \%$$

El rendimiento térmico teórico es del 52,4 % y sería el máximo al que podría aspirar este motor que trabaja con una relación de compresión de 9,5:1 y cuyo fluido que evoluciona en el ciclo de trabajo tiene un coeficiente adiabático de 1,33. El rendimiento efectivo máximo en condiciones de plena carga se da al régimen de par máximo y su valor es del 35,6 %, notablemente inferior al teórico, debido a que las transformaciones termodinámicas no son ni reversibles ni ideales, a una combustión imperfecta y a las pérdidas mecánicas por fricción que tiene el motor.

f) La representación de todas las curvas sería la de la Figura 3.11.

A la vista de los resultados se puede decir que este motor desarrolla un par máximo de 120,3 N · m a 4000 rpm y una potencia máxima de 67,6 kW a 6000 rpm. Estas cifras difieren algo con respecto a los datos del fabricante porque el motor a ensayar puede que tenga muchas horas de funcionamiento y las pequeñas pérdidas de compresión hacen que sus prestaciones se vean ligeramente reducidas. Por otro lado, las cifras de par y potencia máximas del fabricante son valores medios y entre unos motores y otros puede haber una cierta dispersión.

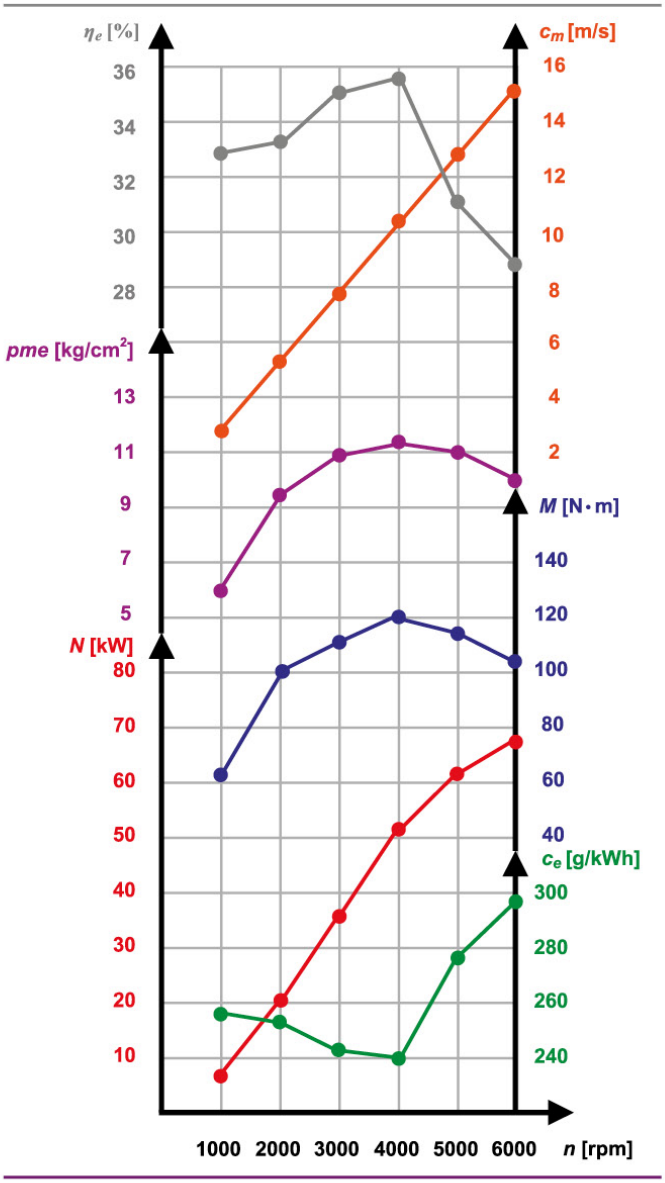


Figura 3.11. *Representación de todas las curvas características de un motor.*

Con respecto al consumo específico de combustible, el valor mínimo es de 240,9 g/kWh y se da en el régimen de par máximo de 4000 rpm. En ese punto de

TABLA 3.2

n [rpm]	N_{corr} [kW]	t en consumir 100 cm³ [s]	*pme* [kg/cm²]	η_e [%]	c_m [m/s]
6000	67,6	13,6	10,1	28,8	15,4
5000	60,9	16,3	11,0	31,1	12,9
4000	50,5	22,5	11,4	35,6	10,3
3000	35,5	31,8	10,7	35,3	7,7
2000	20,9	51,0	9,4	33,4	5,1
1000	6,5	162,5	5,9	33,1	2,6

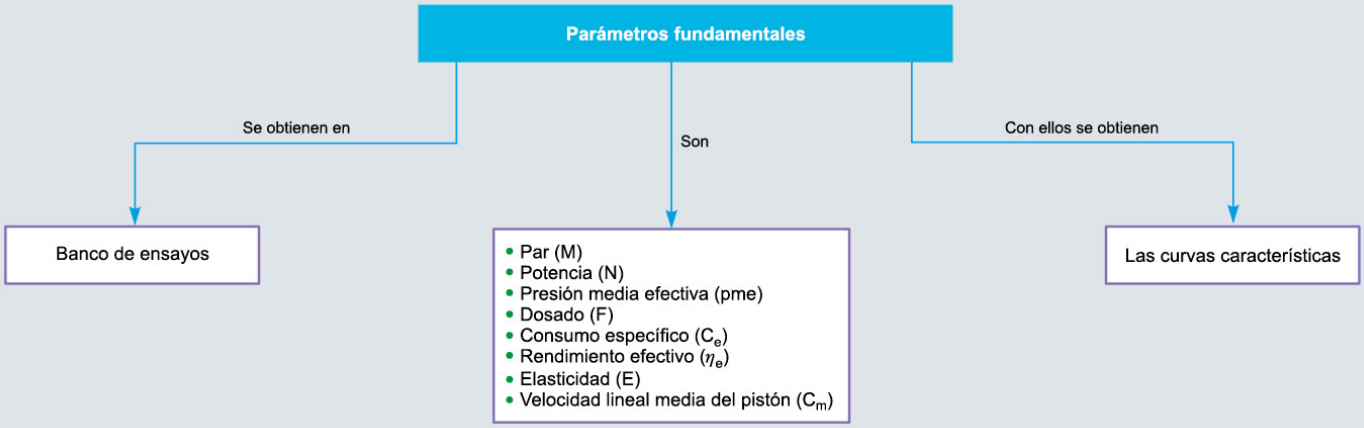
© Ediciones Paraninfo

funcionamiento también se desarrolla la presión media efectiva máxima, cuyo valor es de 11,4 kg/cm^2. Como es lógico, al régimen de par máximo tiene lugar el rendimiento efectivo máximo, que es del 35,6 %, es decir, que del 100 % de la energía que potencialmente puede suministrar el combustible, en el mejor de los casos a plena carga solo se aprovecha en energía útil un 35,6 % y el resto, un 64,4 % se desperdicia en pérdidas de diferentes tipos, de calor, mecánicas…

La velocidad lineal media máxima del pistón es de 15,4 m/s, por debajo del límite de 18 m/s, con lo cual este parámetro está dentro de los márgenes de fiabilidad.

Con respecto a la elasticidad, el valor es de 1,68, lo que indica que el motor no tiene un comportamiento muy elástico y habrá que diseñar un cambio de marchas con unos desarrollos cortos y unas relaciones cerradas para que el vehículo tenga unas prestaciones aceptables.

SÍNTESIS



COMPRUEBA

3.1. Los ensayos que hace un organismo oficial para verificar las características técnicas de un motor antes de su comercialización son de:

a) Investigación.

b) Producción.

c) Homologación.

d) Recepción.

3.2. El par motor, a lo largo de una vuelta de cigüeñal:

a) Es constante.

b) Es variable.

c) Puede ser constante o variable en función de si es de dos o cuatro tiempos.

d) Ninguna de las anteriores.

3.3. La potencia puede expresarse como:

a) Trabajo partido de unidad de tiempo.

b) Fuerza por velocidad lineal.

c) Par por frecuencia angular.

d) Todas las anteriores.

3.4. Decir cuál de las siguientes expresiones es cierta:

a) 1000 kW = 1 W.

b) 1 CV = 735,5 HP.

c) 1 CV = 0,986 HP.

d) 1,014 HP = 1 CV.

3.5. La potencia específica de un motor se puede expresar en:

a) kW/kg.

b) kW/l.

c) kW/m^2.

d) Todas las anteriores son unidades de potencia específica.

3.6. Un motor cuyo dosado relativo es $F_R = 1{,}05$ está trabajando con:

a) Mezcla pobre.

b) Mezcla estequiométrica.

c) Mezcla rica.

d) No se puede saber.

3.7. El consumo específico de combustible puede expresarse en:

a) g/kWh.

b) kW/gh.

c) h/gkW.

d) El consumo específico de combustible es adimensional y no tiene unidades.

3.8. El rendimiento efectivo máximo de un motor de gasolina suele ser:

a) Entre un 15 y un 25 %.

b) Entre un 25 y un 35 %.

c) Entre un 35 y un 45 %.

d) Entre un 45 y un 55 %.

3.9. Un motor con un coeficiente elástico de 3,2 es:

a) Poco elástico.

b) Tiene una elasticidad media.

c) Muy elástico.

d) Depende de las relaciones de transmisión del cambio.

3.10. Para que un motor no sufra excesivo desgaste, la velocidad lineal media del pistón debe ser inferior a:

a) 36 m/s.

b) 30 m/s.

c) 24 m/s.

d) 18 m/s.

REALIZA

3.11. Un motor de gasolina de cuatro tiempos tiene las siguientes características:

Número de cilindros $z = 4$.

Diámetro $D = 82{,}5$ mm.

Carrera $S = 92{,}8$ mm.

Potencia máxima $N_{máx} = 85$ kW a 5200 rpm.

Par máximo $M_{máx} = 170$ N · m a 2400 rpm.

Calcular:

a) Potencia al régimen de par máximo.

b) Par al régimen de potencia máxima.

© Ediciones Paraninfo

ACTIVIDADES FINALES

Parámetros fundamentales y curvas características

3.12. Un motor diésel de cuatro tiempos tiene las siguientes características:

Cilindrada total $V_T = 1896\ cm^3$.

Potencia máxima $N_{máx} = 90$ CV a 3750 rpm.

Par máximo $M_{máx} = 21{,}4\ m \cdot kg$ a 1900 rpm.

Calcular:

a) Potencia al régimen de par máximo.

b) Par al régimen de potencia máxima.

3.13. Calcular la elasticidad de los motores de los ejercicios 3.11 y 3.12, comparando los resultados obtenidos.

3.14. Calcular la presión media efectiva al régimen de par máximo de los motores de los ejercicios 3.11 y 3.12, comparando los resultados obtenidos.

3.15. Un motor está siendo probado en un banco de ensayos. A un determinado régimen de giro y grado de carga entrega una potencia de 52 kW y tarda en consumir 100 cm^3 de combustible 24,5 s. Si la densidad del combustible es de 0,76 g/cm^3, calcular su consumo específico en g/kWh.

3.16. Un motor que consume una masa de combustible por unidad de tiempo de 0,005 kg/s está entregando una potencia de 58 kW. Si el poder calorífico del combustible es de 42 000 kJ/kg, calcular su rendimiento efectivo en esas condiciones de funcionamiento.

3.17. Un motor tiene una carrera de 77 mm. Calcular la velocidad lineal media del pistón cuando su régimen de giro es de 5750 rpm.

INVESTIGA

3.18. Buscar las características técnicas de un motor montado en un vehículo deportivo de muy altas prestaciones y de un motor instalado en un turismo convencional. Calcular la elasticidad de ambos motores y comparar los resultados.

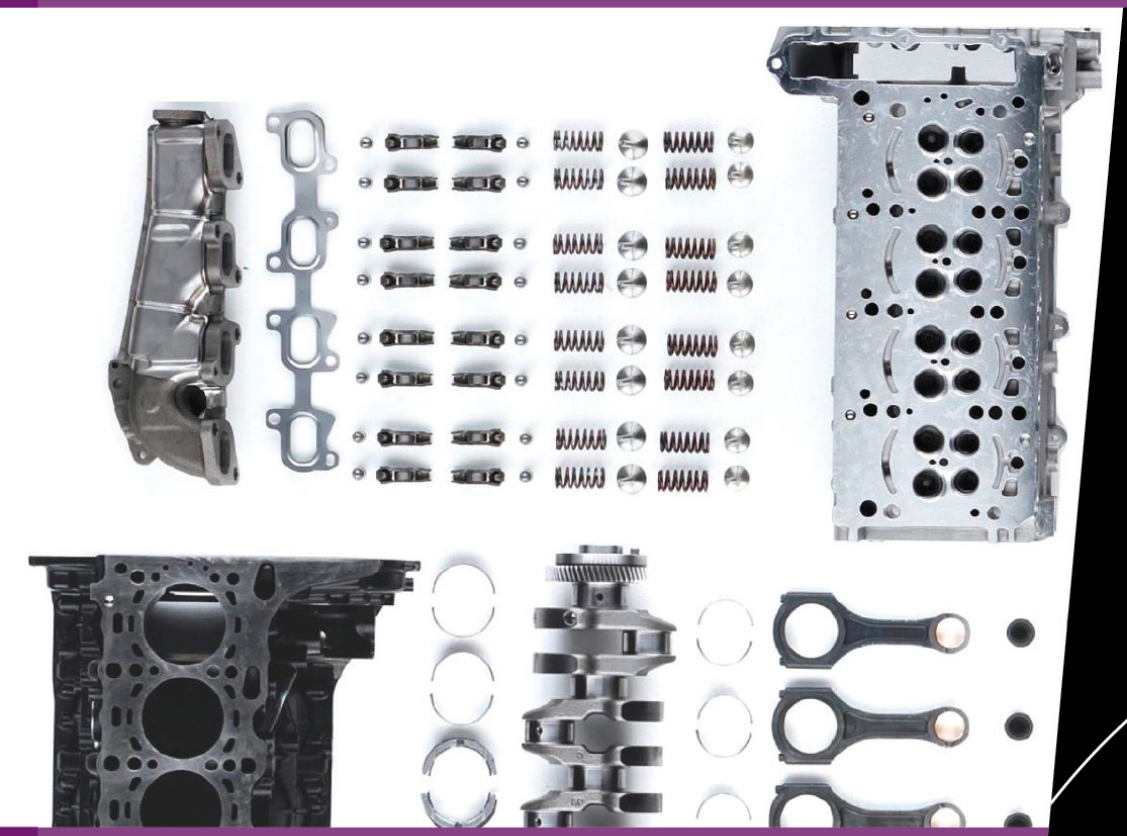
3.19. Comparar la velocidad lineal media del pistón al régimen de potencia máxima de un motor de competición y de un motor de turismo convencional.

3.20. Encontrar información acerca de bancos de ensayos de motores y estudiar las pruebas que se pueden realizar así como el tipo de frenos que emplean.

3.21. A la vista de las expresiones de potencia, presión media efectiva y rendimiento efectivo, analizar las posibilidades que hay para optimizar el funcionamiento del motor.

© Ediciones Paraninfo

Elementos constructivos



4

CONTENIDOS

4.1. Elementos fijos
4.2. Elementos móviles

OBJETIVOS

- Distinguir los elementos fijos y los elementos móviles del motor, así como los componentes que los forman.
- Describir el funcionamiento de los componentes que integran el motor.
- Conocer los materiales y procesos de fabricación utilizados en la construcción de motores.
- Saber cuáles son los daños más frecuentes de los elementos constructivos.
- Comprender los requisitos de diseño de los elementos más importantes de los motores térmicos.

Una vez explicados los fundamentos teóricos que sirven para entender el funcionamiento de un motor de combustión interna se van a estudiar sus elementos constructivos.

A lo largo de este capítulo, los componentes del motor se van a dividir en dos grandes apartados, distinguiendo entre elementos fijos y elementos móviles.

4.1. Elementos fijos

4.1.1. Bloque

El bloque es el elemento soporte más importante del motor, ya que sobre él se embridan o unen otros componentes tanto fijos como móviles, como puede verse en la Figura 4.1. Además es el encargado de soportar los esfuerzos transmitidos por los elementos móviles del motor y la presión de los gases en el cilindro. Los requisitos básicos de este elemento se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Debe tener una elevada rigidez estructural a fin de minimizar su deformación cuando es puesto en servicio y poder soportar otros órganos auxiliares como el alternador, la bomba de la servodirección, el compresor de aire acondicionado…
- Su masa ha de ser elevada para poder amortiguar los ruidos y vibraciones debidos al proceso de combustión.
- Tiene que estar provisto de conductos para la lubricación y refrigeración de los elementos en los que sea necesario, como puede verse en la Figura 4.2.

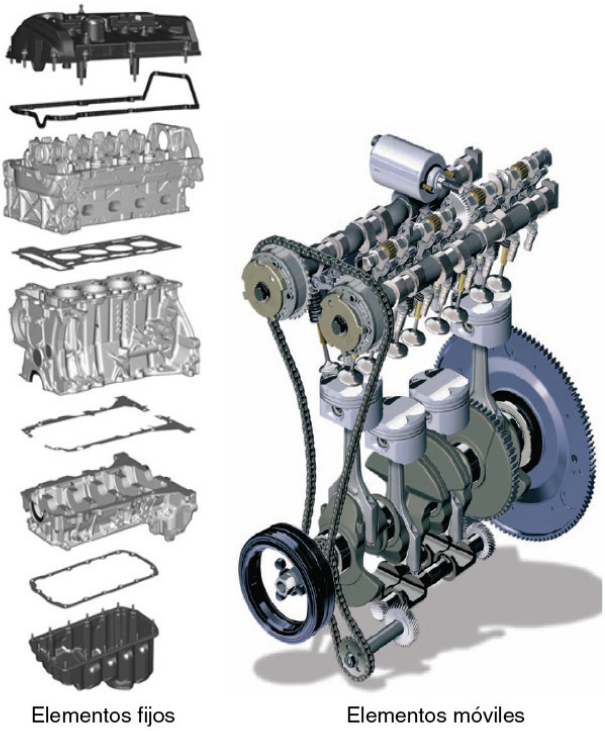


Figura 4.1. *Elementos fijos y elementos móviles del motor.*

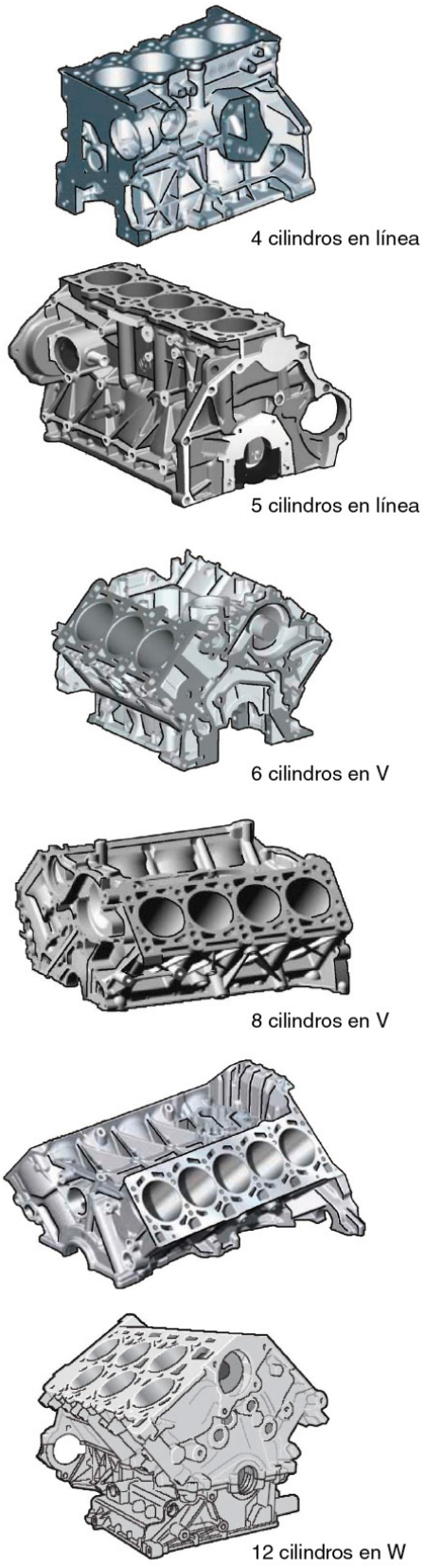


Figura 4.2. *Diferentes bloques de cilindros en línea, en V y en W.*

© Ediciones Paraninfo

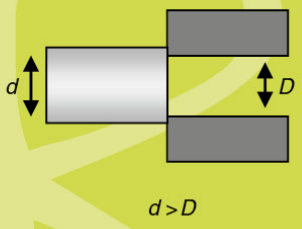
El bloque puede ir refrigerado por agua o por aire. En el caso de la refrigeración por agua, los cilindros tienen a su alrededor unos conductos con agua de refrigeración para evacuar el calor. Para los motores refrigerados por aire, los cilindros se suelen instalar independientes unos de otros, cada uno está rodeado de aletas de refrigeración cuyo objetivo es tener una amplia superficie de contacto que permita transferir el calor del cilindro al aire.

El bloque está sometido a dos tipos de solicitaciones, las mecánicas y las térmicas. Las solicitaciones mecánicas son debidas a las fuerzas que se generan por la compresión de aire o mezcla, a las provocadas por la combustión y a las resultantes del movimiento de los elementos móviles, llamadas fuerzas de inercia. Las solicitaciones térmicas son generadas por las altas temperaturas alcanzadas en la combustión y por la propia fricción del pistón con los cilindros. La combinación de ambos tipos de esfuerzos hace que el desgaste del cilindro sea irregular y con el tiempo adquiera un cierto ovalamiento, con un valor máximo de desgaste establecido por el fabricante.

- **Tipos de cilindros:** los cilindros se pueden clasificar en función del tipo de camisa en:
  - **Cilindros sin camisa:** los bloques que incorporan este tipo de cilindros también se llaman bloques integrales. En ellos la camisa se mecaniza directamente en el bloque. Si el cilindro sufriera un excesivo desgaste, para repararlo sería necesario rectificar el cilindro en una máquina rectificadora. Esta disposición constructiva muy común en bloques de fundición gris y en bloques de aleación de aluminio actualmente es posible si se realiza un tratamiento superficial de las paredes del cilindro mediante la tecnología de recubrimiento por plasma, por ejemplo.
  - **Cilindros con camisa seca:** en este caso, el cilindro se mecaniza en el bloque y se embute a presión una camisa de pared delgada sobre la que desliza el pistón en su movimiento alternativo. Estas camisas se montan en el bloque resultando un ajuste con apriete y en caso de reparación se pueden sustituir las camisas sin necesidad de rectificar y aumentar el diámetro del cilindro.
  - **Cilindros con camisa húmeda:** el nombre de camisa húmeda es debido a que esta tiene un contacto directo con el líquido refrigerante, a diferencia de la anterior. El montaje entre camisa y bloque es con juego, de forma que son fácilmente desmontables, ya que una vez retirada la culata se pueden extraer por la parte superior del bloque. En la parte inferior de la camisa se instala una junta tórica de estanqueidad que impide la mezcla del aceite del cárter con el líquido refrigerante. En caso de reparación, al igual que con las camisas secas, se puede sustituir la camisa sin necesidad de modificar las cotas de los cilindros mediante un rectificado.

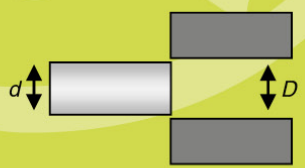
Recuerda que...

Un ajuste con apriete significa que ambas piezas se montan con interferencia, es decir, que el diámetro del eje o pieza interior es mayor que el agujero o pieza exterior.



$d > D$

Un ajuste con juego consiste en que el diámetro del eje es menor que el del agujero, pudiéndose mover libremente una pieza con respecto a la otra.



$d < D$

La Figura 4.3 muestra estos tres tipos de cilindros.

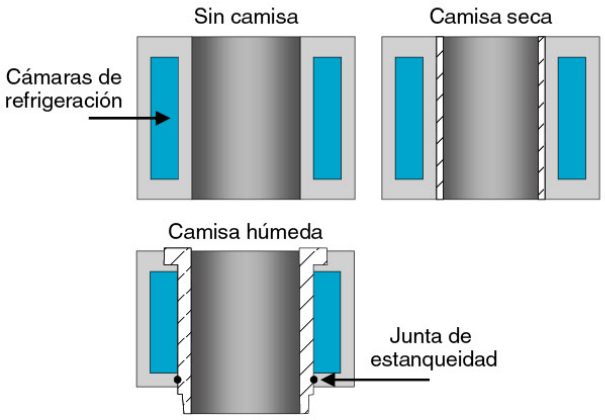


Figura 4.3. *Tipos de cilindros.*

El acabado superficial de los cilindros ha de ser tal que minimice el desgaste y para ello es necesario retener y repartir el aceite de lubricación adecuadamente por su superficie. Esto se consigue mediante el bruñido de los cilindros, que consiste en practicar un rayado en los mismos con cierta inclinación, con el fin de forzar el recorrido del aceite por la superficie del cilindro, como muestra la Figura 4.4. La profundidad de los surcos de este acabado es reducida durante el periodo de rodaje del motor, ayudando al acoplamiento de cilindro, pistón y segmentos.

© Ediciones Paraninfo

Figura 4.4. *Acabado superficial del cilindro mediante bruñido.*

- **Disposición de los cilindros:** el número de cilindros y su configuración depende del espacio disponible en el vano motor y de la cilindrada unitaria de cada cilindro, siendo necesario aumentar el número de cilindros conforme aumenta esta con el fin de reducir las inercias de las partes móviles, que serían de gran tamaño. Las disposiciones constructivas más comunes del bloque de cilindros son las que se detallan a continuación:
  - **En línea:** los cilindros se encuentran en un único bloque de cilindros uno a continuación del otro.
  - **Opuestos o bóxer:** es el caso extremo de un motor en V, con un ángulo de la misma de 180°. Los cilindros se disponen enfrentados horizontalmente, ayudando al equilibrio de fuerzas de inercia ya que el movimiento de un pistón se equilibra con el opuesto que se mueve en sentido contrario. Una de las ventajas de esta disposición es la reducción del centro de gravedad del vehículo, siendo muy utilizada en automóviles deportivos y de competición. Además, permite montar un cigüeñal de menor longitud que disminuye los esfuerzos torsionales.
  - **En V:** los cilindros se distribuyen en dos bloques que adoptan una forma de uve entre ellos, normalmente entre 60 y 90°. Al igual que ocurre con la disposición bóxer, el motor es de menor longitud en comparación con cilindros en línea, reduciendo el tamaño y también el centro de gravedad, aunque sin llegar a la cota del motor bóxer. El cigüeñal también es más corto, lo que aumenta su rigidez.
  - **En VR:** con esta disposición constructiva los cilindros se distribuyen formando una uve reducida, del orden de 15°. La ventaja que tienen con respecto a los cilindros en uve es que permiten montar una única culata, limitando el peso y el tiempo en las operaciones de reparación y mantenimiento.
  - **En W:** la configuración en uve doble se caracteriza por disponer los cilindros en dos bloques formando una uve, normalmente de 72°, y a su vez cada bloque en una uve estrecha de 15°. Esto permite fabricar motores con gran número de cilindros en un espacio reducido, resultando un bloque muy compacto a la vez que rígido.

En la Figura 4.5 se pueden ver esquemáticamente los diferentes tipos de bloques en función de la distribución de los cilindros. El número de cilindros puede variar dependiendo del tipo de motor, pero la configuración genérica es la representada en la figura.

- **Numeración de los cilindros:** la numeración de los cilindros viene determinada por las normas UNE 10 052-72 y la DIN 73 021. Estas normas establecen que la numeración de los cilindros comienza desde el lado opuesto a la toma de fuerza, es decir, por el lado contrario al volante de inercia. Cuando se tienen motores de dos bloques, como en el caso de cilindros opuestos o en uve, se empieza a numerar también por el lado contrario a la toma de fuerza y a su vez por el bloque de la izquierda, continuando después por el de la derecha, como muestra la Figura 4.6. En el caso de los cilindros en disposición VR o W, se sigue el mismo procedimiento.
- **Materiales:** los materiales empleados en la fabricación del bloque deben ser bien elegidos con el fin de que cumpla sus requisitos de rigidez, conductividad térmica para evacuar el calor fácilmente, resistencia a la corrosión y fabricabilidad. El bloque puede construirse en:
  - **Fundición de hierro o fundición gris:** se emplea en bloques con camisa seca, camisa húmeda y sin camisa, con aleaciones de cromo-níquel en este último caso para poder resistir la corrosión debida al proceso de combustión. Actualmente está muy extendido el uso de fundición con grafito vermicular (GGV), llamada así porque el grafito adopta una forma de gusano, que permite fabricar elementos con paredes delgadas y muy resistentes, por lo que puede reducir el peso del conjunto entre un 5 y un 10 %.

© Ediciones Paraninfo

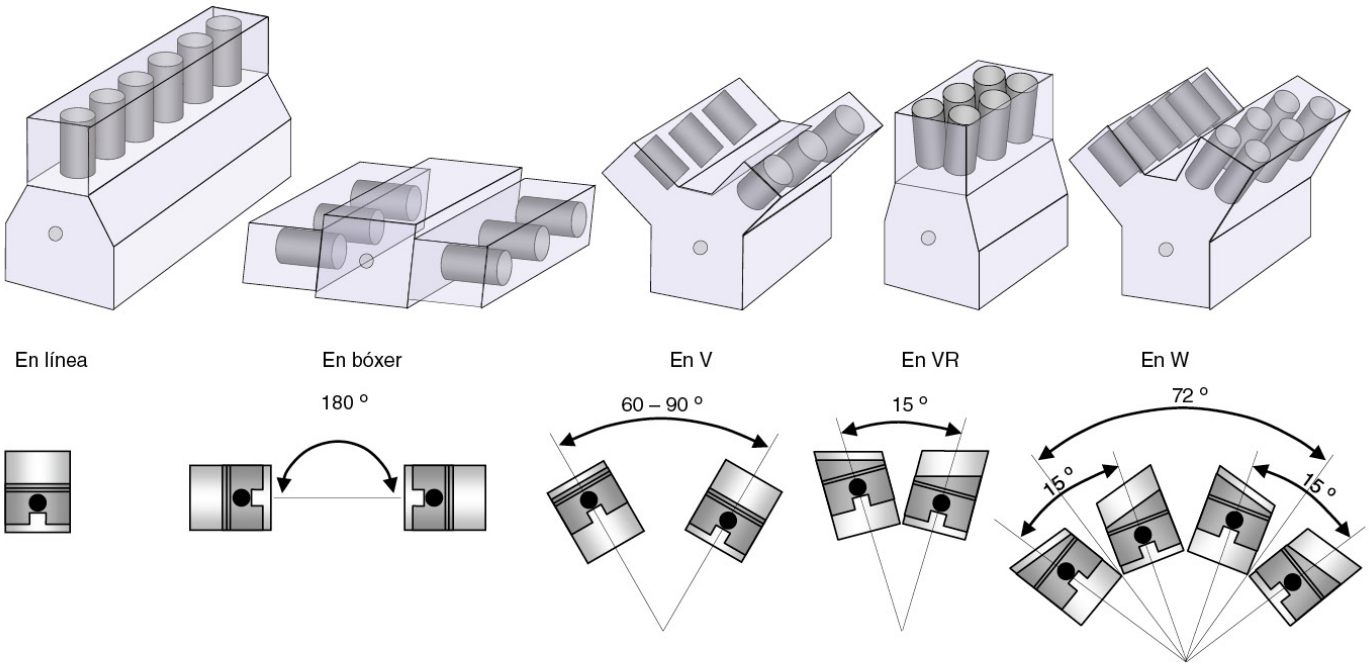


Figura 4.5. *Diferentes disposiciones de los cilindros.*

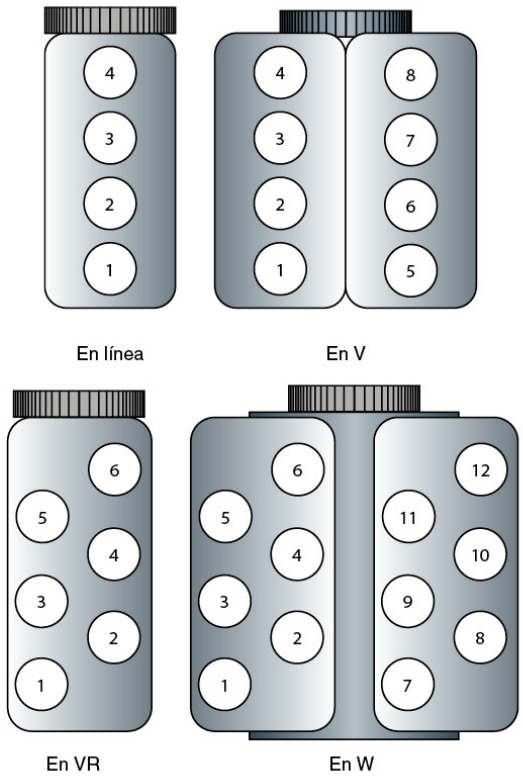


Figura 4.6. *Numeración de los cilindros.*

– **Fundición de aluminio:** actualmente es el material más utilizado porque reduce el peso del motor.

En cuanto a los cilindros, las camisas húmedas y secas suelen fabricarse de fundición centrifugada o en acero nitrurado. En los bloques integrales, especialmente los de aluminio, es necesario un recubrimiento con nikasil para aumentar la resistencia al desgaste. En motores más modernos el bloque se fabrica en una aleación de aluminio y silicio llamada alusil, que durante el mecanizado permite que aflore el silicio, aumentando la resistencia en la superficie del cilindro.

- **Daños:** los daños del bloque se producen fundamentalmente en las paredes de los cilindros por:
  - **Desgaste:** a medida que el motor suma horas de funcionamiento, los cilindros tienden a perder su cilindridad, consiguiendo un cierto ovalamiento en su sección transversal y una cierta conicidad en su sección longitudinal. Este desgaste puede ser prematuro si se prolongan en exceso los cambios de aceite o bien no se utiliza el adecuado, o si el motor trabaja siempre a velocidades muy elevadas, ya que la velocidad lineal media del pistón es proporcional al nivel de desgaste.
  - **Gripaje:** cuando el motor ha tenido una falta de lubricación o de refrigeración, las piezas que están en contacto con el cilindro, es decir, pistón y segmentos, pueden dilatarse hasta el punto que se produce la soldadura entre estos elementos y las paredes del cilindro, quedándose adherido el material y por tanto quedando la superficie deteriorada.

Cuando el desgaste es excesivo y en el caso de gripaje, es necesario devolver al cilindro sus características,

© Ediciones Paraninfo

sustituyendo las camisas secas o húmedas o rectificando el cilindro en el caso del bloque integral.

Sabías que...

Actualmente pueden emplearse diferentes métodos para el acabado superficial de los cilindros cuando estos son sin camisa en un bloque integral. Un par de ejemplos son:

- **Recubrimiento por plasma:** se suele emplear en bloques integrales de aluminio y consiste en que un gas formado por hidrógeno y argón es calentado por un arco voltaico a casi 12 000 °C, alcanzando un estado de plasma con una velocidad de unos 600 m/s. Sobre este dardo de plasma se proyecta el material de recubrimiento, que es una mezcla de aleación de acero y molibdeno, siendo fundido a unos 2500 °C y lanzado a unos 150 m/s. El soplete de plasma se mueve de forma circular por la pared del cilindro y el material proyectado se adhiere a ella generando unos cráteres en los que va a quedar retenido el aceite y cuando el segmento pase por encima de ellos se producirá un régimen de lubricación hidrodinámico que evitará el contacto sólido-sólido. Este tipo de recubrimiento genera una superficie de contacto de muy poco espesor que además facilita la transferencia de calor a la refrigeración.
- **Bruñido por erosión de fotones ultravioleta:** este procedimiento puede aplicarse a bloques integrales de fundición de hierro. Consiste en practicar un bruñido convencional y posteriormente un rayo láser funde la superficie de contacto introduciendo nitrógeno. De esta forma se produce un endurecimiento superficial de la pared del cilindro.

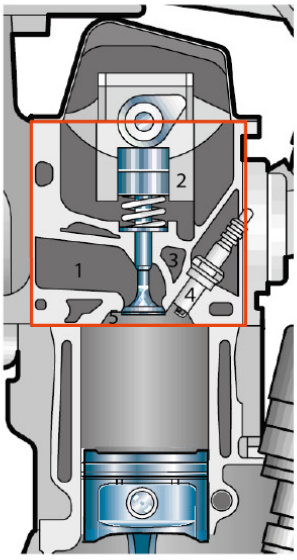
4.1.2. Culata

La culata es el elemento que se fija al bloque en su parte superior, cerrando los cilindros y que contiene los siguientes elementos, algunos de ellos mostrados en la Figura 4.7:

- Conductos o pipas de admisión y de escape.
- Todos o parte de los elementos del sistema de distribución.
- Conductos de refrigeración y lubricación.
- Orificios para las bujías, inyectores o calentadores, según sea un motor gasolina o diésel.
- Parte o la totalidad de la cámara de combustión.

Dado que la culata está sometida a solicitaciones mecánicas, térmicas y químicas críticas, debe reunir las siguientes cualidades:

- Ser resistente a la presión de los gases, por lo que debe construirse lo más robustamente posible a pesar de ser difícil de mecanizar dada su compleja geometría y unirse lo más fijamente al bloque.
- Tener una buena capacidad de evacuar calor, por las altas temperaturas que alcanza, con lo cual su conductividad térmica tiene que ser elevada. Además, su coeficiente de dilatación debe ser compatible con el del bloque para no producir deformaciones a medida que aumenta la temperatura de ambos.
- Resistir el ataque químico de los gases de combustión, que pueden resultar corrosivos.
- Permitir un buen intercambio de gases, por lo que el diseño de los conductos de admisión y de escape ha de ser tal que facilite el proceso de renovación de la carga.
- Mantener la estanqueidad de forma que no haya fuga de gases de combustión, refrigerante o lubricante en su unión con el bloque o en los orificios labrados en ella para bujías, inyectores, calentadores, válvulas…



1. Pipa de escape.
2. Elementos de la distribución.
3. Conductos de refrigeración.
4. Orificio para la bujía.
5. Cámara de combustión.

Figura 4.7. *Elementos que comprende la culata.*

Las culatas se pueden clasificar en función del tipo de motor, gasolina o diésel, ya que la forma de la cámara de combustión es diferente en ambos casos, habiendo a su vez diferentes cámaras de combustión para motores de gasolina y para motores diésel.

- **Culatas para motores de gasolina:** el objetivo de las cámaras de combustión de los motores de gasolina es conseguir que la combustión de la mezcla sea lo más completa posible y se produzca muy rápidamente, en menos de 2 milésimas de segundo. La idea es hacer que la combustión

© Ediciones Paraninfo

se produzca a volumen constante, como ocurre en el ciclo teórico de trabajo de los motores Otto. Para conseguir esto, la cámara de combustión ha de conseguir:

- Una elevada turbulencia del fluido de admisión para favorecer la mezcla de gasolina y aire. Para ello es necesaria una buena disposición de las válvulas y un alzado adecuado de las mismas.
- Un frente de llama que se desplace rápidamente y de la forma más uniforme posible. Para minimizar el recorrido del frente de llama es necesario que la bujía esté próxima a la cabeza del pistón y si se pretende uniformidad, la situación central de la bujía en la cámara de combustión es la óptima.
- Minimizar las pérdidas de calor. Para aprovechar al máximo la energía aportada por el combustible en la fase de combustión es necesario que la mayor parte del calor se transforme en trabajo y no en pérdidas de calor. Esto se consigue diseñando cámaras de combustión compactas que tengan una superficie reducida.
- Evitar la detonación. Por este motivo, las cámaras de combustión no han de tener partes susceptibles de ser puntos calientes por acumulación de carbonilla o falta de refrigeración.

En los motores de gasolina se distinguen los siguientes tipos de cámaras de combustión, representados en la Figura 4.8:

– **En forma de bañera:** este tipo de cámaras de combustión permiten un alzado de válvulas mayor en comparación con las otras disposiciones, eliminando en parte la restricción al paso de gases por las válvulas. El recorrido del frente de llama es largo, lo que impide que se propague rápidamente. Las esquinas debidas a su forma pueden ser susceptibles de acumular carbonilla y favorecer la detonación.

– **En forma de cuña:** esta disposición permite un frente de llama corto y al tener una superficie reducida minimiza las pérdidas de calor durante la combustión. El efecto de barrido en el momento del cruce de válvulas se ve penalizado al no estar enfrentada la válvula de admisión con la de escape. Por otro lado, las esquinas abruptas que genera esta forma son potenciales puntos calientes que pueden provocar la detonación de la mezcla.

– **En forma hemisférica:** es la que ofrece mayores ventajas con respecto a las anteriores. Es muy compacta, evitando la transferencia de calor durante la combustión y minimizando el recorrido del frente de llama. Permite instalar las válvulas de admisión y escape enfrentadas con un cierto ángulo, lo que hace que aumente el efecto de barrido durante el cruce de válvulas. Actualmente es la solución más adoptada, sobre todo en motores multiválvulas.

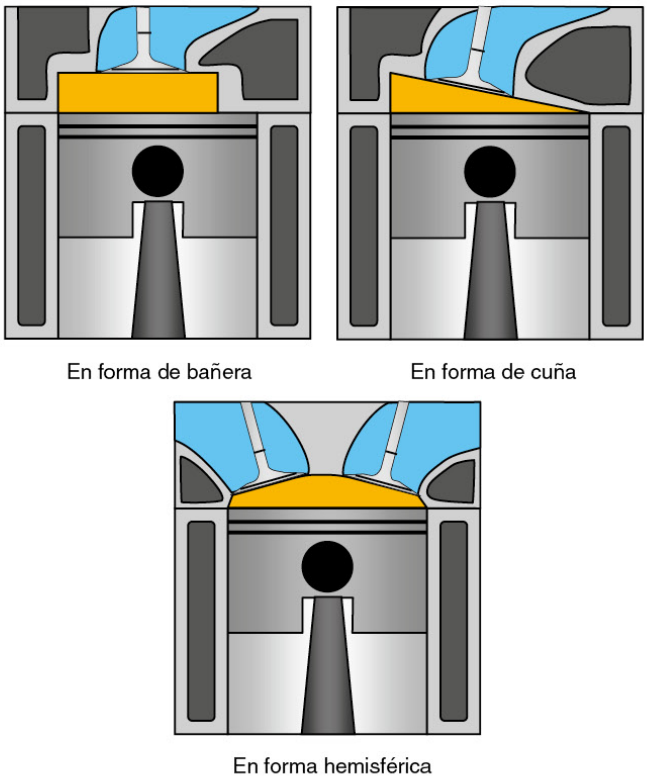
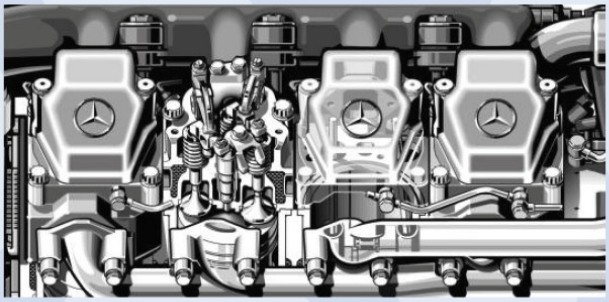


Figura 4.8. *Diferentes formas de cámaras de combustión.*

Sabías que...

En algunos motores diésel, no existe una única culata para todos los cilindros, sino culatines individuales, uno por cilindro.



Existen otros tipos de cámaras de combustión, a la vista de la Figura 4.9, como las bihemisféricas, actualmente en desuso, donde la forma consiste en dos hemiesferas intersecadas, una para la válvula de admisión y otra para la de escape. Otros tipos tienen parte de la cámara de combustión labrada en el pistón para aumentar la turbulencia o, como en algunos motores de inyección directa de gasolina, con un deflector para orientar la mezcla hacia el entorno de la bujía cuando funcionan en el modo estratificado.

© Ediciones Paraninfo

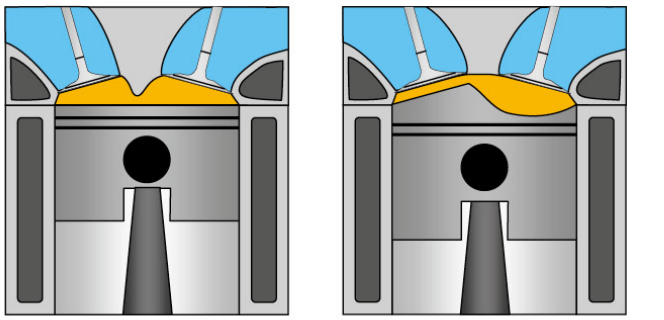


Figura 4.9. *Otros tipos de cámara de combustión*

- **Culatas para motores diésel:** las culatas de los motores diésel son muy parecidas a las de los motores de gasolina a excepción del diseño de la pipa de admisión, que debe favorecer al máximo la turbulencia del aire de entrada al cilindro. Además, dado que en los motores diésel hay muy poco tiempo para formar la mezcla, el diseño de la cámara de combustión es especial, sobre todo en los motores de inyección indirecta de combustible, en los que hay que instalar unas precámaras para aumentar la turbulencia dado que las presiones de inyección son bajas. Las cámaras de combustión más comúnmente empleadas en automoción se pueden clasificar en:

  – **Cámara de precombustión:** en la Figura 4.10 se puede apreciar el funcionamiento de este tipo de precámaras. El aire, una vez comprimido, entra a través de los orificios (1) en la precámara (2). El inyector (3) inyecta el combustible y este comienza a arder, expandiéndose rápidamente hacia el cilindro a través de los orificios (1), que ayudan a la pulverización del combustible que aún no se ha quemado. Este combustible y el que se sigue inyectando durante la expansión, se acaba de quemar en el cilindro dado que la temperatura del aire ha aumentado mucho a lo largo de todo este proceso. El volumen de esta cámara de precombustión es aproximadamente 1/3 del volumen de la cámara de combustión total y dada su gran superficie, disipa rápidamente el calor, siendo necesario instalar una bujía de precalentamiento (4) para el arranque en frío. La turbulencia con las cámaras de precombustión se produce en el inicio de la combustión y las presiones de inyección suelen ser de 80 a 120 bar.

  – **Cámara de turbulencia o Ricardo-Comet:** a la vista de la Figura 4.11, la precámara se comunica con la cámara de combustión principal a través de un orificio (1), por donde entra el aire comprimido en la fase de compresión a la precámara (2), adquiriendo una gran turbulencia en forma de torbellino sobre el cual, el inyector (3) inyecta el combustible, produciéndose su inflamación y pasando posteriormente al cilindro a través del conducto (1), donde la presión de combustión hace que descienda el pistón generando trabajo. El volumen de este tipo de precámaras es aproximadamente 2/3 del volumen de la cámara de combustión total y es necesaria una bujía de precalentamiento (4) para el arranque en frío o bien una resistencia calefactora en el colector de admisión. Se emplea para motores de inyección indirecta y las presiones de inyección suelen ser de 80 a 140 bar.

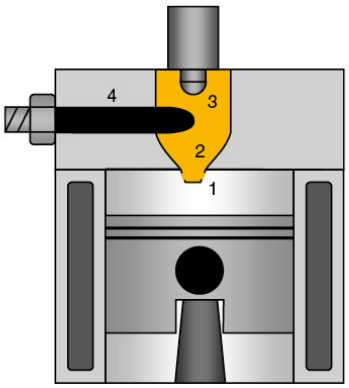


Figura 4.10. *Cámara de precombustión de un motor diésel de inyección indirecta.*

  – **Cámara de combustión labrada en pistón:** en este caso, la cámara de combustión no está en la culata sino mecanizada en la cabeza del pistón, como muestra la Figura 4.12. Este tipo de cámara de combustión es empleada en motores de inyección directa, ya que la inyección del combustible se produce directamente en el cilindro. Dado que hay muy poco tiempo para formar la mezcla, las presiones de inyección han de ser muy elevadas, del orden de 1800 bares o más en vehículos modernos, y la única forma de generar turbulencia es montar inyectores (1) de varios orificios, normalmente 5, y con la forma toroidal (2) de la cámara de combustión en el pistón. Sigue siendo necesario instalar una bujía de precalentamiento (3) para facilitar el arranque en frío.

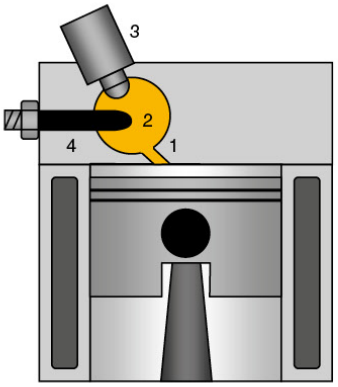


Figura 4.11. *Cámara de turbulencia o de tipo Ricardo-Comet de un motor diésel de inyección indirecta.*

© Ediciones Paraninfo

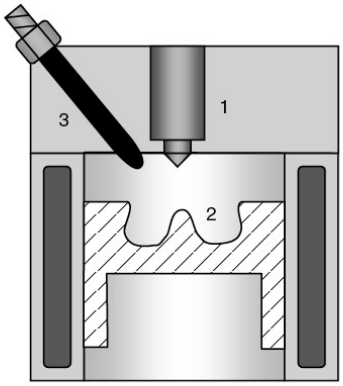


Figura 4.12. *Cámara de combustión labrada en pistón de un motor diésel de inyección directa.*

- **Materiales:** los materiales más comúnmente utilizados en la fabricación de la culata son:
  - **Fundición de hierro:** se suele alear con otros materiales como el cromo y el níquel con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas. Las culatas de fundición de hierro tienen una buena resistencia tanto mecánica como térmica, siendo poco propensas a la deformación por exceso de temperatura, aunque la conductividad térmica es reducida y por tanto su capacidad para disipar el calor.
  - **Aleación de aluminio:** este material es el más utilizado actualmente ya que su peso es reducido y su conductividad térmica elevada, facilitando la evacuación de calor y alcanzando rápidamente la temperatura de funcionamiento. El aluminio se suele alear con otros materiales para mejorar la resistencia mecánica, a la corrosión y facilitar el mecanizado. Las culatas de aleación de aluminio son más propensas a la deformación por exceso de temperatura. La Figura 4.13 muestra un ejemplo de culata de aluminio.

Figura 4.13. *Culata de aluminio.*

- **Daños:** los daños más comunes de la culata suelen ser ocasionados por un sobrecalentamiento de la misma, deformando los planos de junta con el bloque o con los colectores. En ocasiones pueden producirse fisuras por tensiones térmicas debidas a una avería en la refrigeración, sumadas a las tensiones mecánicas por la presión de los gases. Otro tipo de avería puede ser el deterioro de las roscas cuando se sustituyen elementos por mantenimiento, como bujías, calentadores… por lo que es recomendable instalar dichos elementos con cuidado, introduciéndolos primero a mano y utilizar la llave especificada solo para la fase de apriete.

Sabías que...

El aluminio (Al) tiene poca resistencia a la tracción y poca dureza, por lo que para mejorar sus propiedades es necesario alearlo con otros materiales como por ejemplo:

- *Níquel (Ni):* aumenta mucho su resistencia mecánica a altas temperaturas y disminuye la tendencia a la corrosión.
- *Silicio (Si):* combinado con el magnesio (Mg) mejora la resistencia mecánica. Además, con el empleo de Mg se aumenta la resistencia tras el conformado en frío.
- *Manganeso (Mn):* ayuda al mecanizado y mejora las propiedades mecánicas.
- *Cromo (Cr):* aumenta la resistencia si se combina con Mg y Mn.

El duraluminio es una aleación de aluminio muy empleada cuya composición es la siguiente:

Aluminio + Cobre (3-5 %) + Magnesio (0,5-2 %) + Manganeso (0,25-1 %) + Zinc (3,5-5 %)

- **Junta de culata:** la junta de culata, representada en la Figura 4.14, es un elemento que asegura la estanqueidad entre el bloque de cilindros y la culata. Además, debe impedir la comunicación entre los cilindros, los conductos para la lubricación y los conductos para la refrigeración. Tiene que absorber las irregularidades del plano de junta del bloque y la culata, por lo que el material debe ser deformable. Está sometida a altas presiones y temperaturas de trabajo, debiendo conservar sus propiedades durante toda la vida útil del motor. Antiguamente se fabricaban con fibras de amianto, cubiertas por dos planchas de acero engastadas en los bordes. El amianto es un material muy cancerígeno que ha sido sustituido por otros materiales. La Figura 4.15 muestra las partes y capas de las que está compuesta una junta de culata moderna.

Figura 4.14. *Junta de culata.*

© Ediciones Paraninfo

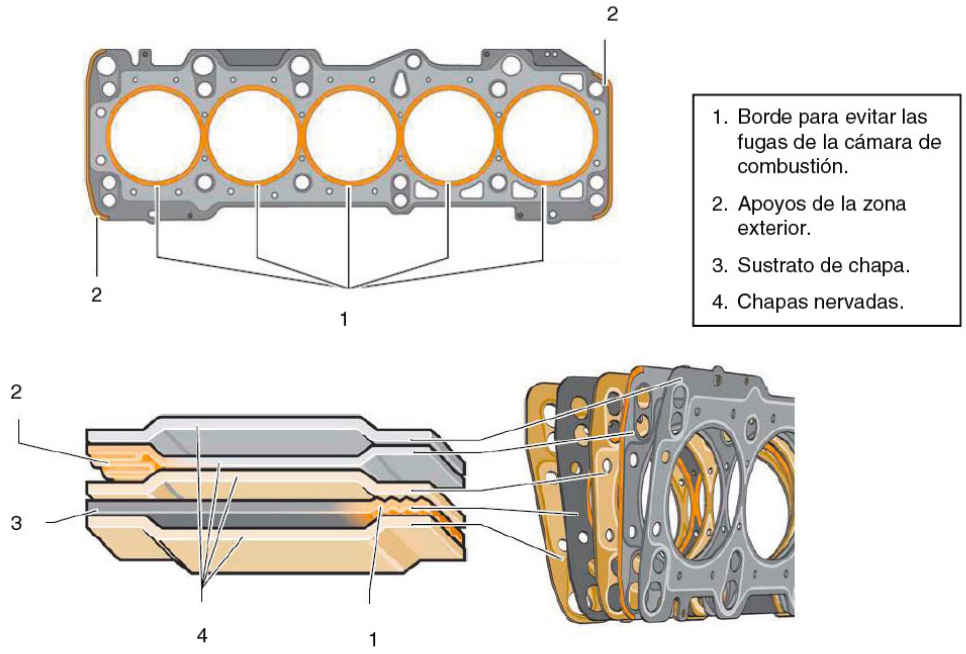


Figura 4.15. *Partes de una junta de culata.*

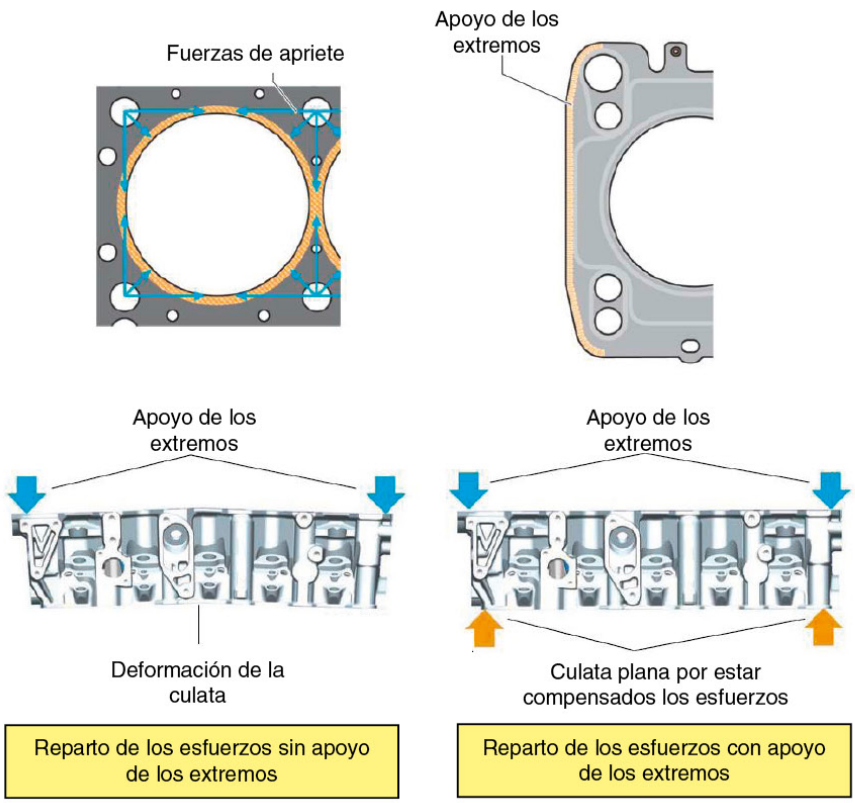


Figura 4.16. *Reparto de esfuerzos en la junta de culata.*

© Ediciones Paraninfo

La junta de culata también tiene la función de repartir bien las fuerzas de apriete de forma que no se provoque la deformación de la culata, ya que los tornillos de sus extremos provocan un mayor prensado de la junta, que favorece este fenómeno. Para ello, según muestra la Figura 4.16, las zonas de apoyo deben estar bien diseñadas para realizar un reparto lo más homogéneo posible de los esfuerzos.

Es importante resaltar que las juntas de culata suelen llevar unas marcas que indican su posición, su espesor (en caso de rectificar la culata y ser necesario compensar la altura de la misma) y otros códigos del fabricante.

4.1.3. Tapa de balancines

La tapa de balancines es el elemento que cierra el motor por su parte superior y va atornillada a la culata, interponiendo una junta de goma. Suele llevar el orificio y el tapón de llenado de aceite, así como el conducto de desgasificación de los vapores de aceite.

- **Materiales:** los materiales más empleados son la chapa de acero, el aluminio y actualmente está muy extendido el uso de plástico. Algunos fabricantes utilizan el magnesio para fabricar este elemento. La Figura 4.17 muestra dos ejemplos de tapa de balancines.

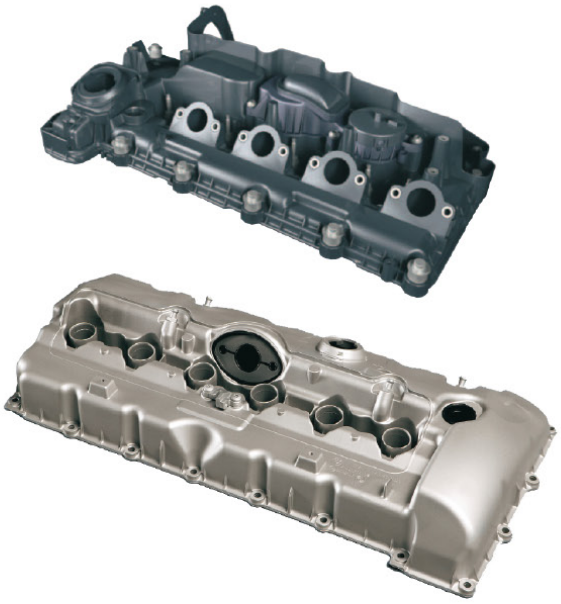


Figura 4.17. *Diferentes tipos de tapas de balancines: de plástico (arriba) y de magnesio (abajo).*

- **Daños:** la avería más común de la tapa de balancines es la fuga de aceite a través de la junta de estanqueidad con la culata, que con el tiempo pierde su flexibilidad y el ajuste deja de ser totalmente hermético. En caso de pérdida excesiva de aceite hay que sustituir dicha junta.

4.1.4. Bancada

La bancada es la encargada de sostener al tren alternativo y fijarlo al bloque de cilindros, a través de sus cojinetes, dentro de los cuales se alojan los apoyos del cigüeñal.

Existen dos tipos de bancadas. Las primeras forman parte del bloque y sus tapas de los cojinetes de apoyo se atornillan directamente a él, como muestra la Figura 4.18. Las segundas se emplean en motores con bloque de aluminio o en algunos motores diésel y tienen todos los apoyos unidos en una pieza llamada semicárter inferior, que ofrece una mayor rigidez al conjunto, como puede apreciarse en la Figura 4.19.

- **Materiales:** las bancadas que forman parte del bloque y tienen las tapas de los apoyos independientes suelen ser de fundición de hierro, compartiendo este tipo de material con el bloque. En los motores con semicárter inferior, el material empleado es una aleación ligera de aluminio y en el caso de grandes motores diésel chapa soldada.

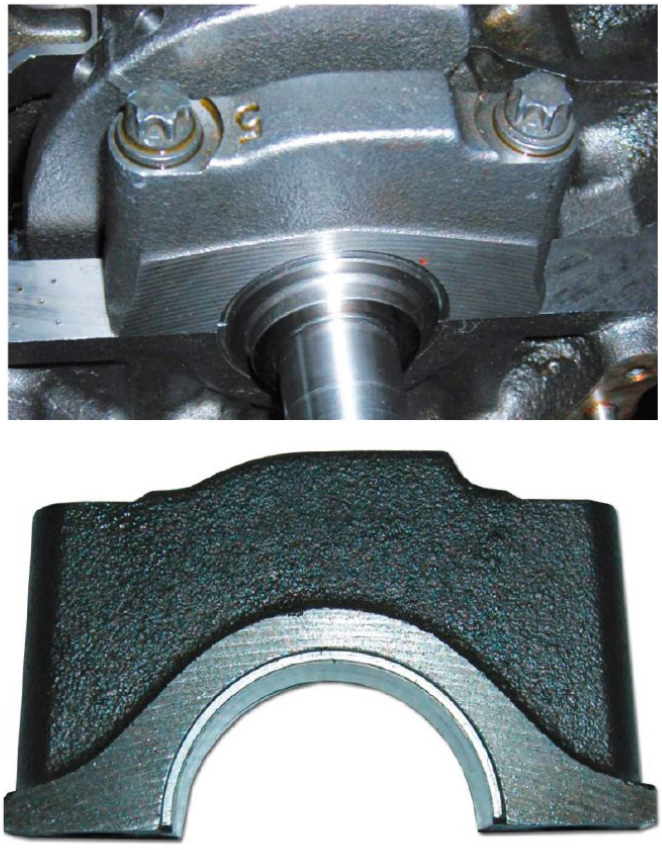


Figura 4.18. *Bancada con tapas de apoyos independientes.*

© Ediciones Paraninfo

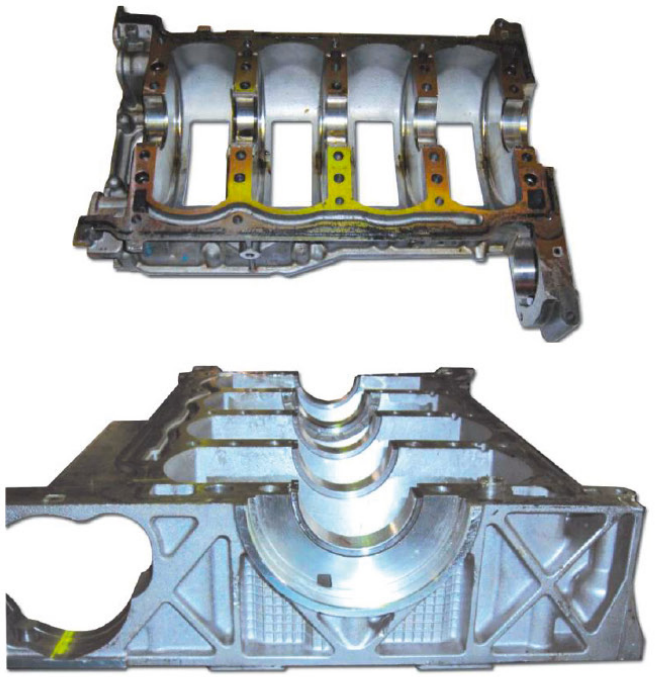


Figura 4.19. *Bancada con apoyos unidos en forma de semicárter.*

- **Daños:** no es habitual que la bancada sufra daños excepto por excesiva vibración debido al desequilibrado de los elementos del tren alternativo, que puedan provocar en ella fisuras o deformaciones. Los tornillos de fijación con el bloque pueden sufrir alargamiento y hay que comprobarlos si se desmonta la bancada. También pueden sufrir daños los cojinetes de los apoyos del cigüeñal por desgaste o fallo de lubricación.

4.1.5. Cárter

El cárter es el elemento que cierra el motor en su parte inferior y constituye un depósito del aceite de lubricación. Se une al bloque o a la bancada por medio de tornillos y en medio se aplica junta líquida para asegurar la estanqueidad. En su parte inferior lleva el tapón de vaciado del aceite. Es habitual encontrar en su interior una serie de tabiques que impiden que el aceite se desplace en las curvas o en pendientes muy pronunciadas interrumpiendo la succión del mismo por la bomba de aceite que luego lo envía a presión al resto de componentes del motor.

- **Materiales:** el cárter se fabrica en aluminio o en chapa, como muestra la Figura 4.20.
- **Daños:** salvo que el motor haya sufrido un impacto en su parte inferior, el cárter es un elemento poco propenso a dañarse. Con el tiempo pueden observarse fugas de aceite por el deterioro de la junta de estanqueidad y en los cambios de aceite hay que tener cuidado de no dañar la rosca del tapón y sustituir la arandela del tornillo cada vez que se realice esta operación.

Recuerda que...

Hay otros elementos del motor que sirven de cierre del mismo, como por ejemplo el cárter de distribución.

Figura 4.20. *Cárter de chapa (arriba) y de aluminio (abajo).*

© Ediciones Paraninfo

4.1.6. Colectores

- **Colector de admisión:** el colector de admisión es el encargado de introducir el aire o la mezcla de aire y combustible, dependiendo del tipo de motor, en las pipas de admisión de la culata, a la cual va atornillado. Entre colector y culata se interpone una junta para asegurar la estanqueidad y un buen ajuste de ambos componentes. Los materiales de fabricación suelen ser fundición de aluminio o plástico, como el mostrado en la Figura 4.21. El empleo de plástico reduce los costes de fabricación, el peso y tiene muy buen acabado superficial en el interior de los conductos. Algunos modelos tienen una configuración mixta, donde parte del colector es de aluminio, normalmente la parte atornillada a la culata, y parte es de plástico.

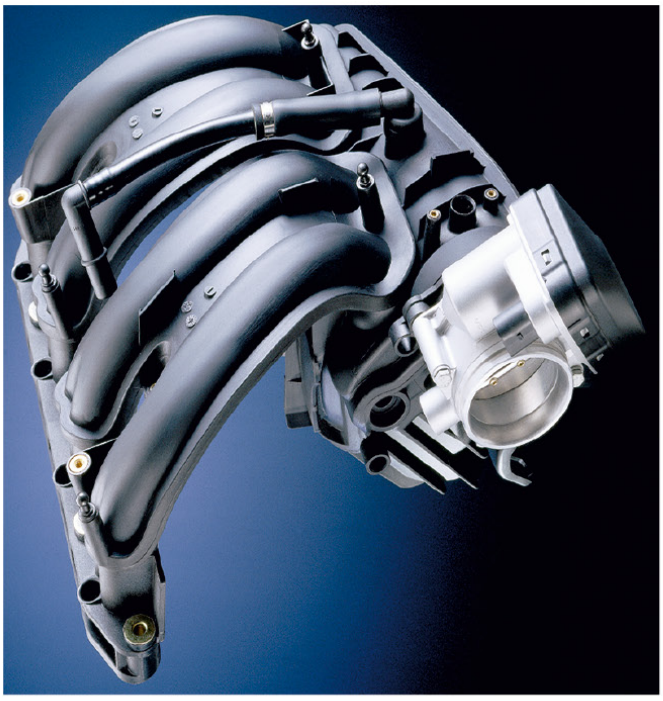


Figura 4.21. *Colector de admisión de plástico.*

- **Colector de escape:** este elemento se encarga de evacuar los gases quemados tras la combustión hacia la línea de escape. El aspecto es similar al colector de admisión pero los materiales son diferentes debido a las altas temperaturas que pueden alcanzar. Suelen fabricarse en fundición de hierro para motores de producción en serie. Para motores de competición o de muy altas prestaciones se fabrican con tubos soldados de acero inoxidable con el fin de poder adoptar geometrías más complejas. La Figura 4.22 muestra diferentes colectores de escape.

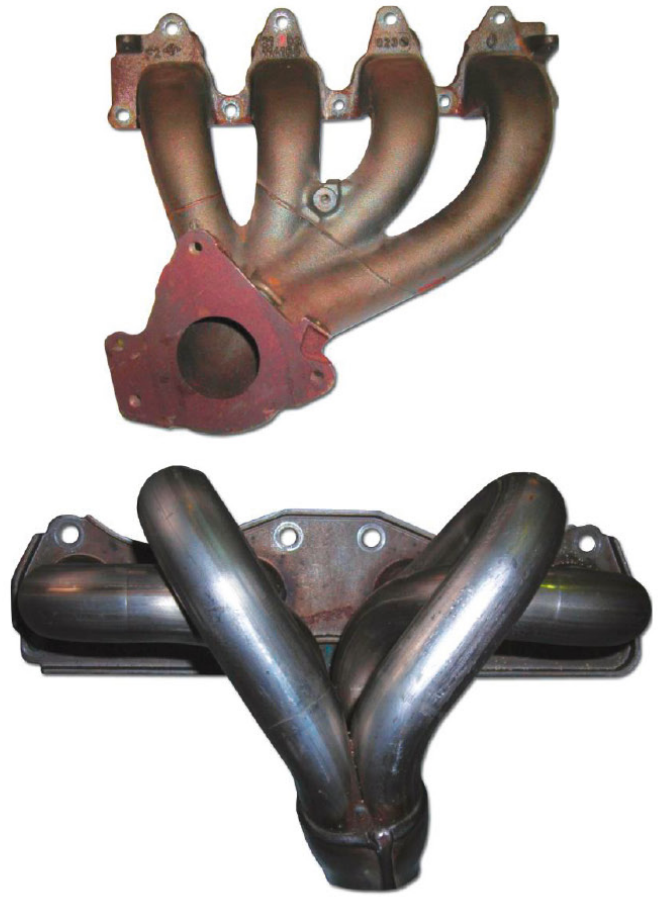


Figura 4.22. *Colectores de escape, de fundición (arriba) y de acero inoxidable (abajo).*

4.2. Elementos móviles

4.2.1. Elementos del tren alternativo

Se consideran elementos del tren alternativo aquellos que forman parte del mecanismo biela-manivela que transforma el movimiento lineal del pistón en rotativo del cigüeñal. Los componentes más importantes son los pistones, las bielas y el cigüeñal. A continuación se explicarán dichos componentes y otros necesarios para su acoplamiento, guiado y de ayuda para mantener una regularidad de funcionamiento.

- **Pistón:** el pistón es el elemento que transmite la fuerza ejercida por la presión de los gases sobre su superficie tras la combustión al resto de elementos del mecanismo biela-manivela. Debido a esto, puede llegar a soportar presiones superiores a los 50 bares y temperaturas de más de 250 °C, dependiendo del tipo de motor. Las cualidades que debe tener un pistón son las siguientes:

© Ediciones Paraninfo

- Elevada resistencia mecánica y térmica.
- Alta conductividad térmica para poder evacuar el calor fácilmente.
- Reducido coeficiente de rozamiento con el cilindro para minimizar el desgaste y las pérdidas mecánicas.
- Poco peso para disminuir las inercias en su movimiento.

Las partes de un pistón, siguiendo la Figura 4.23, son:

– **La cabeza (1):** es la parte superior del pistón y la que está expuesta a mayor temperatura y presión debido a la combustión, por lo que su espesor es mayor en comparación con el resto de partes. Puede albergar parte o la totalidad de la cámara de combustión dependiendo del tipo de motor o puede tener diferentes formas, como por ejemplo un deflector en motores de gasolina de inyección directa o en algunos motores de dos tiempos. En algunos motores, como los diésel de inyección directa, la cabeza del pistón se refrigera con aceite inyectado a presión desde la parte inferior del cilindro, a través de unos conductos practicados en el pistón, como se ve en la Figura 4.24, ya que por encima de los 300-320 °C el desgaste es excesivo.

– **La falda (2):** sirve para guiar al pistón y dado que su temperatura de funcionamiento es inferior a la de la cabeza, es un buen elemento para transferir el calor desde esta a las paredes del cilindro y de ahí a la refrigeración. Esta función también la realizan los segmentos. Para disminuir la fricción a veces suele llevar un baño de grafito, como puede verse en la Figura 4.24.

– **El alojamiento de los segmentos (3):** son unas acanaladuras que se practican en el contorno del pistón para introducir los segmentos en ellas. Como el primer segmento de compresión o segmento de fuego ha de soportar mayores temperaturas, su alojamiento puede ir reforzado con acero, como muestra la Figura 4.24. El alojamiento del segmento rascador de aceite lleva unos orificios para que el aceite barrido en el movimiento alternativo del pistón por el cilindro pueda gotear al cárter.

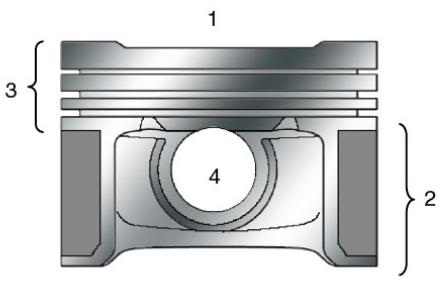
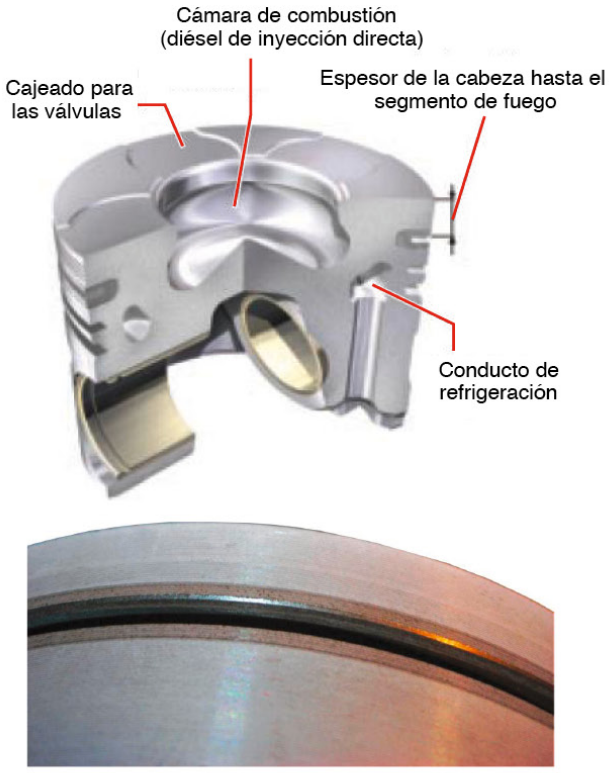


Figura 4.23. *Partes de un pistón.*



Refuerzo de acero en el segmento de fuego

Falda con baño de grafito

Figura 4.24. *Peculiaridades de algunos pistones.*

– **El alojamiento del bulón (4):** es el orificio practicado en el pistón para insertar el bulón, que a su vez lo unirá a la biela.

Se pueden encontrar diferentes tipos de pistones en función del motor donde van instalados. Así, algunos tienen unos rebajes especiales para que no haya interferencia con las válvulas, otros tienen deflectores para orientar el flujo de gas de alguna forma y determinados modelos incorporan parte de la cámara de combustión en la cabeza del pistón para mejorar la turbulencia. En la Figura 4.25 pueden

© Ediciones Paraninfo

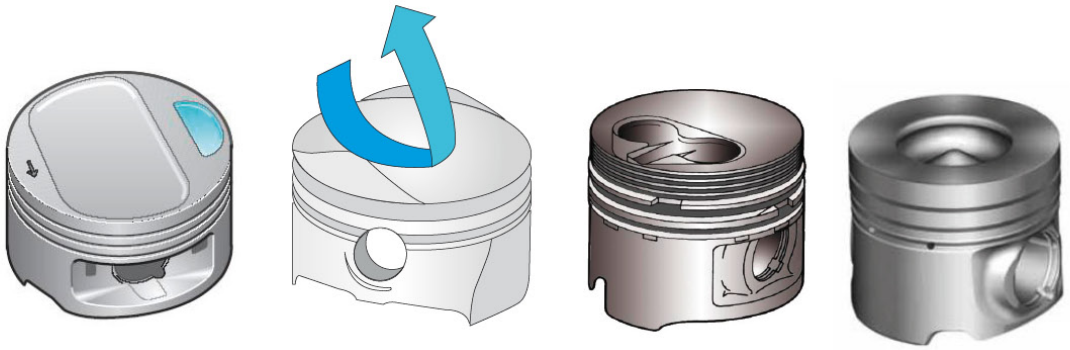


Figura 4.25. *Diferentes tipos de pistones.*

observarse diferentes tipos de pistones con las formas más comunes.

Los motores de inyección directa de gasoil no tienen la cámara de combustión centrada con el pistón, como muestra la Figura 4.26, para favorecer la turbulencia.

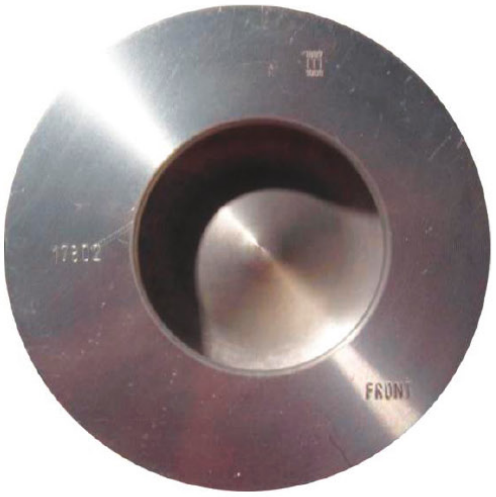


Figura 4.26. *Posición de la cámara de combustión en la cabeza del pistón de un motor diésel de inyección directa.*

Un aspecto importante a tener en cuenta es el control de la dilatación del pistón, ya que en frío tiene un juego de montaje con el cilindro para que al dilatarse en caliente ajuste pero sin riesgo de agarrotamiento. Para conseguir esto los pistones suelen construirse de forma troncocónica, siendo el diámetro de la falda mayor que el de la cabeza. Esto se hace porque la cabeza está sometida a mayor temperatura y dilatará más en caliente en comparación con la falda. Este fenómeno puede apreciarse en la Figura 4.27.

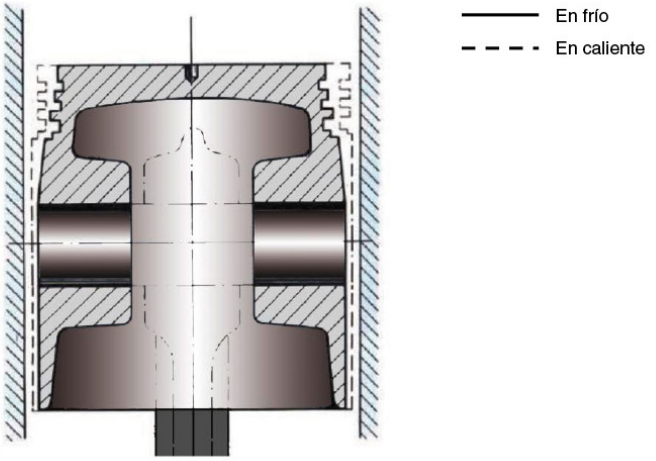


Figura 4.27. *Efecto de la dilatación en un pistón troncocónico.*

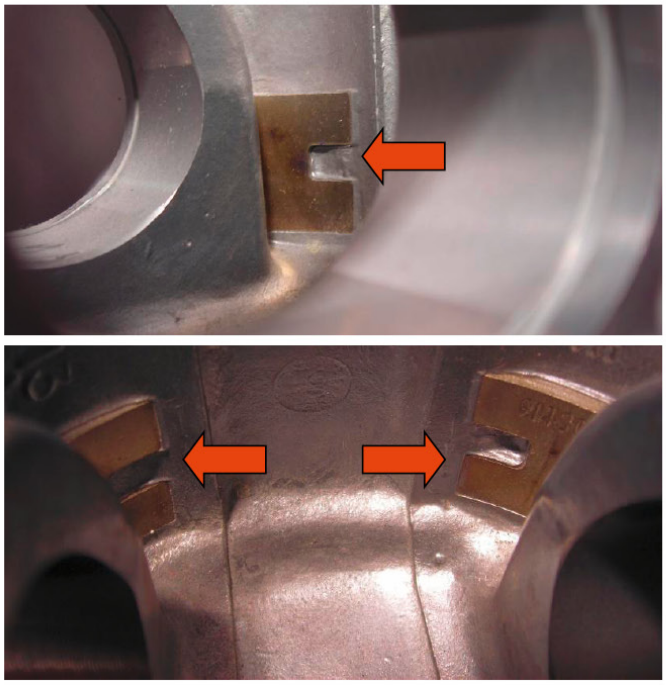
Otra forma de controlar la dilatación del pistón es mediante la inserción de placas de acero con un reducido coeficiente de dilatación. De esta forma, el pistón se construye con sección ovalada y las placas, mostradas en la Figura 4.28, fuerzan a que tenga una forma circular en caliente, dilatándose en la dirección del eje del bulón, asegurando un buen acoplamiento entre el pistón y el cilindro.

Los materiales con los que se fabrican los pistones suelen ser aleaciones de aluminio o de magnesio. Es frecuente el empleo de alpax, que es una aleación de aluminio y silicio, que disminuye el coeficiente de dilatación térmica y aumenta la dureza y la conductividad térmica. También pueden alearse otros metales como el cobre y el níquel. El empleo de hierro fundido o acero está casi en desuso y aún puede encontrarse en algunos motores industriales, motores de pistones radiales de aviación…

Los pistones convencionales suelen fabricarse en fundición y son colados en arena o en coquilla, mecanizándose

© Ediciones Paraninfo

posteriormente para obtener una geometría precisa y después son sometidos a diferentes tratamientos térmicos, como el templado, con el fin de aumentar su resistencia. En motores de altas prestaciones o que alcanzan grandes presiones y temperaturas en la cámara de combustión se fabrican forjados para aumentar la resistencia mecánica.



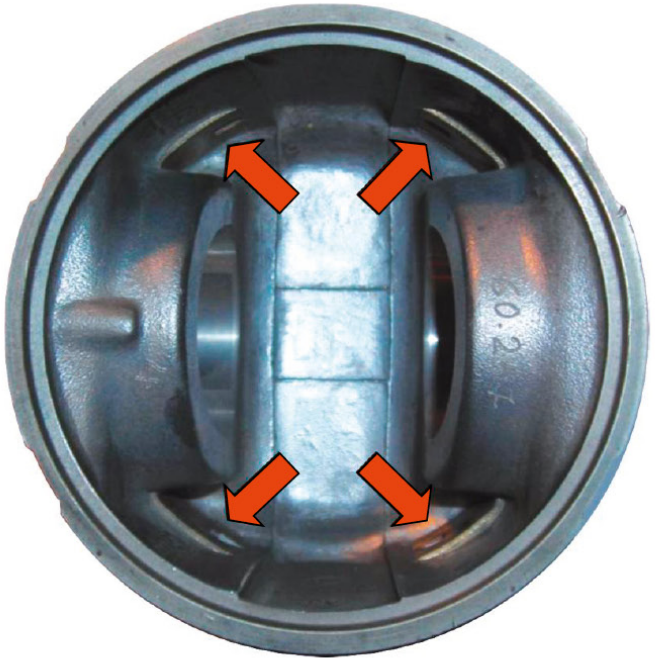


Figura 4.28. *Placas de acero para controlar la dilatación del pistón de un motor diésel de inyección directa.*

Los pistones, en condiciones normales de funcionamiento no sufren más daños que los del propio desgaste, pero por un defecto de lubricación, una temperatura excesiva o un mal diseño del juego de montaje pueden producirse microsoldaduras entre el pistón y el cilindro que originan daños como los mostrados en la Figura 4.29. En tal caso habrá que sustituir el pistón, los segmentos y rectificar el cilindro o sustituir la camisa. En motores de gasolina, cuando se emplean bujías de un grado térmico inadecuado o el avance del encendido no es el correcto, puede llegar a perforarse la cabeza del pistón.

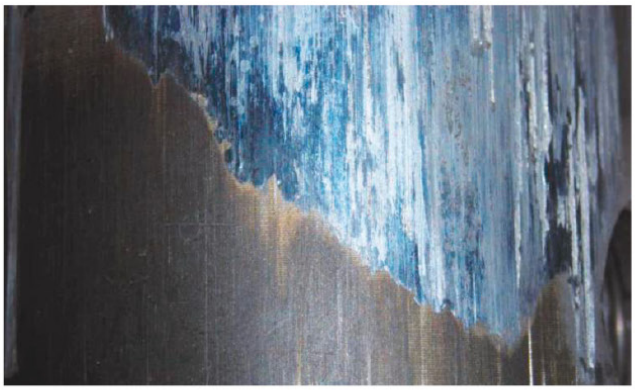


Figura 4.29. *Agarrotamiento de un pistón contra las paredes de un cilindro.*

- **Segmentos:** los segmentos son unos anillos elásticos que se colocan en las ranuras del pistón y aseguran un ajuste hermético entre este y las paredes del cilindro. Tienen las siguientes funciones:
  - Asegurar la estanqueidad entre la cámara de combustión y el cárter. Por un lado para evitar pérdidas de la presión debida a la combustión de los gases y aprovechar la máxima energía de los mismos en la producción de trabajo. Por otro lado deben impedir el paso de aceite a la cámara de combustión para que no exista consumo del mismo y reducir las emisiones contaminantes.
  - Permitir la transferencia de calor del pistón a las paredes del cilindro y de ahí al sistema de refrigeración.
  - Guiar al pistón con un bajo coeficiente de fricción para minimizar el desgaste.

Existen dos tipos de segmentos, como muestra la Figura 4.30:

- **De compresión:** son los encargados de mantener el hermetismo entre la cámara de combustión y el cárter. El número de segmentos de compresión suele ser dos o tres. El segmento más próximo a la cabeza del pistón es el segmento de fuego y soporta grandes presiones y temperaturas, además de estar en una atmósfera corrosiva por los productos resultantes de la combustión, por lo que debe fabricarse en

© Ediciones Paraninfo

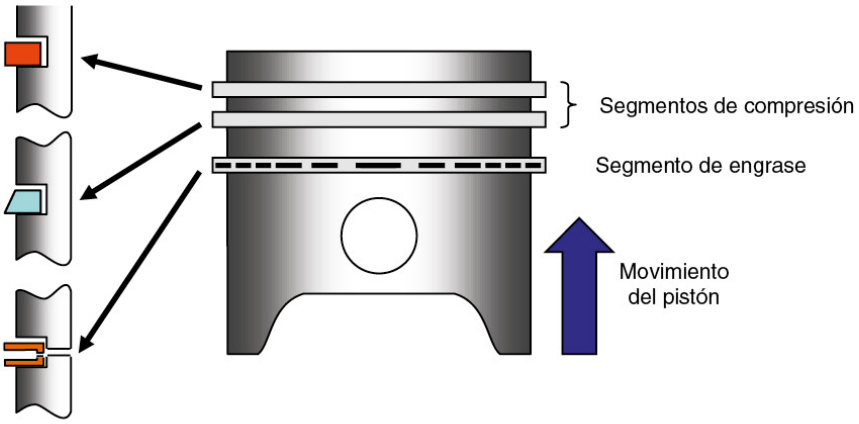


Figura 4.30. *Tipos de segmentos.*

materiales que soporten esas condiciones de funcionamiento. Normalmente los segmentos tienen un juego de montaje con sus alojamientos para compensar la dilatación en caliente y no quedarse agarrotados a los mismos.

– **De engrase:** la función principal de este segmento es la de repartir uniformemente el aceite por las paredes del cilindro y retirar el excedente a través de una serie de orificios practicados en su alojamiento para que posteriormente gotee al cárter o lubrique el bulón. El segmento de engrase suele fabricarse con una sección en C, con un elemento expansor que lo presiona contra las paredes del cilindro. Otros se dividen en tres partes, con dos anillos, uno superior y otro inferior, y el elemento expansor.

La función de mantener la estanqueidad de los gases está representada en la Figura 4.31, donde puede verse el cierre hermético del segmento contra su alojamiento y la pared del cilindro.

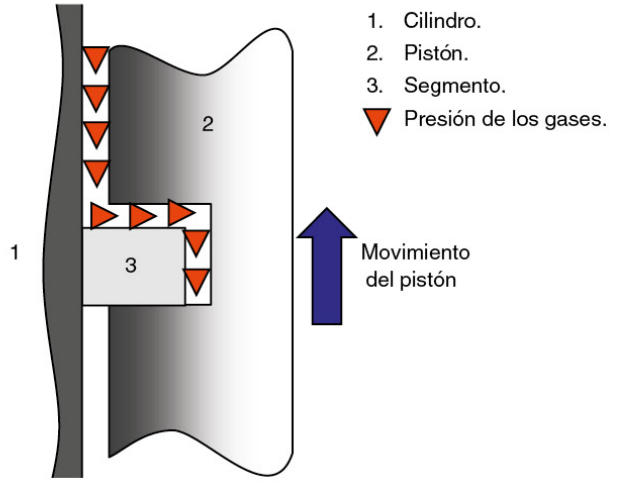


Figura 4.31. *Función de estanqueidad del segmento.*

El cierre de las puntas del segmento puede tener diferentes formas, siendo las más usuales las que muestra la Figura 4.32.

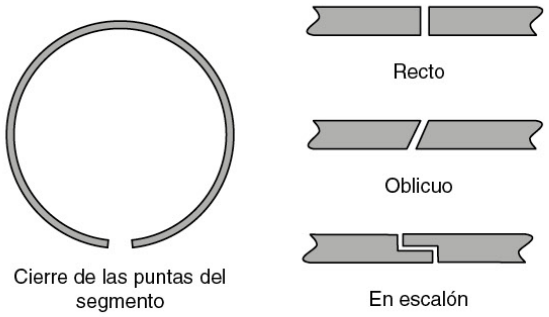
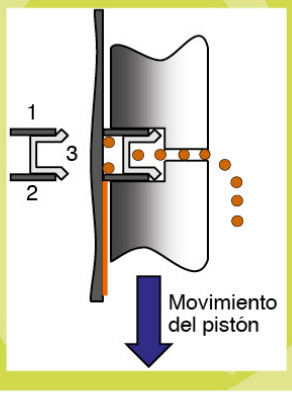


Figura 4.32. *Diferentes cierres de las puntas del segmento.*

La sección transversal puede tener diferentes formas e influye notablemente en las características y funciones del segmento, como se detalla en la Figura 4.33. Además, a cada tipo de segmento le suelen corresponder unas secciones determinadas que ayudan a mejorar su comportamiento.

Recuerda que...

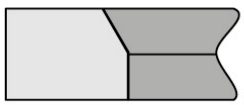
Muchos segmentos de engrase tienen tres partes: un anillo superior (1), un anillo inferior (2) y un elemento expansor (3).



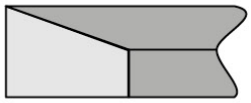
© Ediciones Paraninfo

Rectangular. Suele corresponder al segmento de fuego. Mejora la estanqueidad y la transferencia de calor por tener una gran superficie de contacto con el cilindro.

Trapezoidal exterior. Segmento de compresión que limpia el exceso de aceite, reduce la fricción y disminuye el periodo de rodaje.

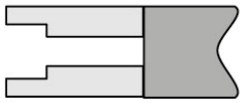


Con chaflán interno. Segmento de compresión que cuando desciende se acuña para limpiar el aceite y en el ascenso mejora la hermeticidad.

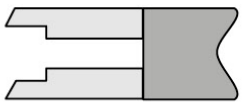


Trapezoidal interior. Segmento de compresión que reduce el riesgo de engomado de los segmentos por acumulación de carbonilla y restos de aceite.

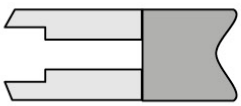
En forma de uña. Segmento de compresión que ayuda a limpiar el aceite de las paredes del cilindro.



Segmento de engrase que limpia y reparte el aceite por la superficie del cilindro.



Segmento de engrase con chaflanes paralelos que reduce el consumo de aceite.



Segmento de engrase con chaflanes opuestos para reducir el consumo de aceite.

Figura 4.33. *Diferentes secciones transversales de los segmentos.*

Los segmentos se suelen fabricar en fundiciones especiales con aleaciones de diversos materiales como el cromo, molibdeno, titanio, vanadio… Para disminuir el rozamiento se les suele aplicar un cromado en su superficie de contacto, especialmente al segmento de fuego. A la hora de la fabricación es muy importante que el material sea homogéneo para que realice la misma presión sobre el cilindro en todo su perímetro.

Los daños que pueden sufrir los segmentos son:

» *Engomado:* se produce cuando se acumula un exceso de carbonilla y aceite en el alojamiento y el segmento se queda adherido al pistón. Este fenómeno se puede evitar utilizando el aceite adecuado o empleando segmentos con sección trapezoidal que se autolimpian.

Figura 4.34. *Aspecto de la cabeza del pistón de un motor de dos tiempos tras la rotura de un segmento.*

» *Gripaje o rotura:* el gripaje tiene lugar cuando debido a una alta temperatura de funcionamiento, el segmento se queda agarrotado contra las paredes del cilindro dañándose ambas piezas. La rotura puede ser una consecuencia del gripado o debido a una mala elección del material o del juego de montaje, que pueden originar vibraciones en su alojamiento. Cuando un segmento se rompe puede dañarse el pistón, el cilindro y la culata. La Figura 4.34 muestra el aspecto de la cabeza del pistón de un motor de dos tiempos tras haberse roto el segmento.

- **Bulón:** es el elemento encargado de unir el pistón a la biela, transmitiendo los esfuerzos generados por la presión de los gases tras la combustión, por lo que debe ser robusto y de un peso reducido para disminuir la inercia al movimiento. Hay tres tipos de montaje del bulón, representados en la Figura 4.35, con respecto al pistón y a la biela:

  – **Bulón fijo en el pistón y libre en la biela:** este montaje consiste en que el bulón tiene un ajuste con apriete en el pistón y un ajuste con juego en la biela, donde se inserta un casquillo. En los extremos del bulón se suelen instalar dos circlips de seguridad. Para desmontarlo es necesario calentar el pistón.

  – **Bulón libre en el pistón y libre en la biela:** en este caso el bulón tiene un ajuste con juego tanto en el pistón como en la biela. En la biela es necesario montar un casquillo que disminuya la fricción y dos circlips en los extremos para que el bulón no se desplace axialmente y pueda dañar el cilindro. Al ser un ajuste con juego, el montaje y desmontaje puede realizarse en frío. Esta configuración suele emplearse en motores de altas prestaciones.

© Ediciones Paraninfo

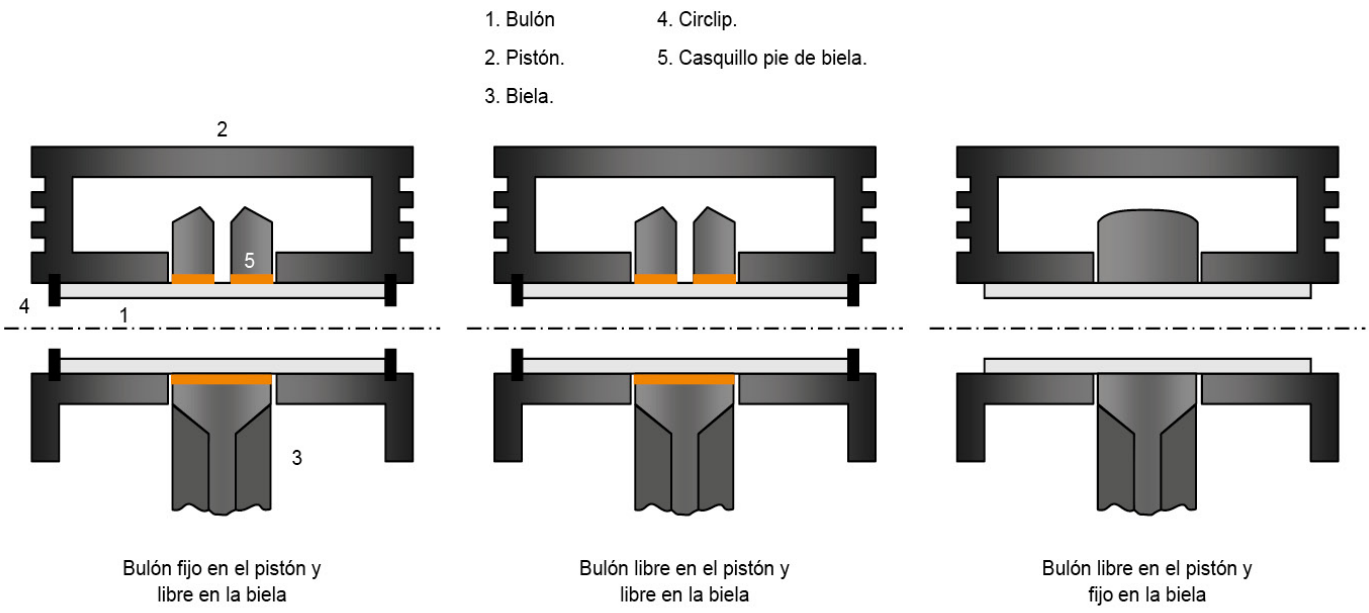


Figura 4.35. *Diferentes tipos de montaje del bulón.*

– **Bulón libre en el pistón y fijo en la biela:** el bulón tiene un ajuste con juego con el pistón y con apriete en la biela. Con este sistema se prescinde del casquillo del pie de biela y de los circlips de seguridad. Para el desmontaje y montaje es necesario calentar la biela y utilizar un útil de centrado del bulón. Esta disposición es la más utilizada en los motores de automoción.

Como es lógico, es inviable instalar el bulón fijo en el pistón y en la biela porque entonces esta no podría girar.

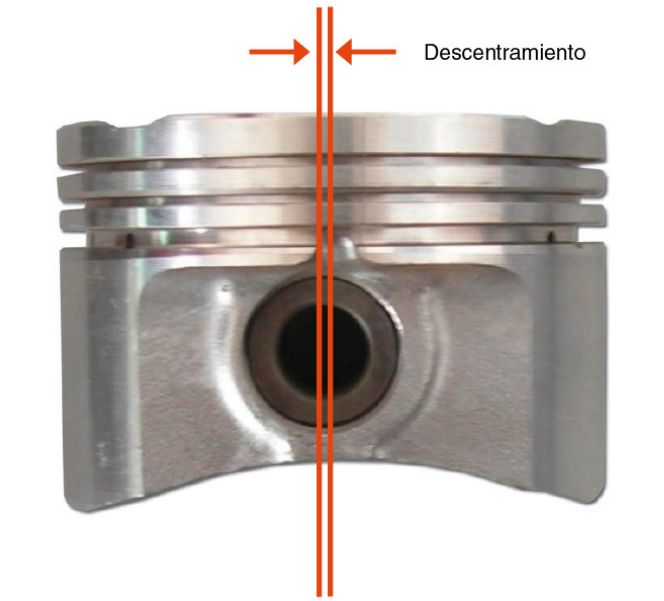


Figura 4.36. *Descentramiento del bulón con respecto al centro del pistón.*

Es habitual el practicar un descentramiento del bulón con respecto al centro del pistón, como muestra la Figura 4.36. El objetivo es modificar el comportamiento del mecanismo biela-manivela de forma que los cambios de sentido del movimiento cuando el pistón pasa por el PMS y por el PMI son más progresivos. En motores de gasolina se consigue que la fase de combustión se aproxime más a una transformación a volumen constante. Además, disminuyen los esfuerzos sobre las paredes del cilindro durante la carrera de trabajo (expansión) y aumentan en la carrera de compresión, pero como la fuerza que actúa sobre el pistón en este último caso es menor que tras la combustión, el desgaste es prácticamente igual que en la carrera descendente, quedando compensado.

Los materiales en los que se fabrica el bulón suelen ser aceros que posteriormente se someten a un tratamiento térmico de cementación para conseguir un endurecimiento superficial. También se emplean aceros al cromo-níquel para disminuir el coeficiente de rozamiento.

El bulón no suele sufrir daños a no ser que se produzca una falta de lubricación o un agarrotamiento con la pieza en la que va montado con juego. En cualquier caso, si se desmonta del conjunto biela-pistón habrá que verificar su estado superficial y sus dimensiones.

- **Biela:** la biela es la pieza que comunica el bulón con la muñequilla del cigüeñal transmitiendo los esfuerzos debidos a la presión de los gases sobre el pistón al cigüeñal. Debe tener una rigidez elevada minimizando su peso para disminuir las inercias. Además el peso de las bielas de un mismo motor debe ser el mismo para no generar desequilibrios. Aparte de la fuerza de los gases de la combustión,

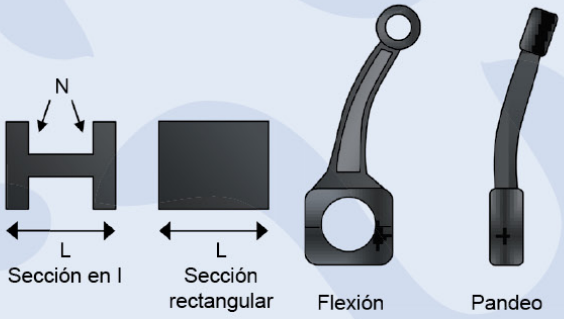
© Ediciones Paraninfo

la biela tiene que soportar fuerzas de inercia alternativas y rotativas debidas a su movimiento. Las partes que tiene la biela, mostradas en la Figura 4.37, son:

– **El pie de biela:** es la parte que se une al pistón por medio del bulón. Dependiendo del tipo de montaje se inserta un casquillo antifricción (o rodamiento de agujas en los motores de dos tiempos de engrase por mezcla) y un orificio de lubricación para que entre el aceite bien a presión o bien por el sobrante que vierte el segmento de engrase hacia el interior del pistón.

Sabías que...

El cuerpo de biela tiene una sección en I porque tiene la misma resistencia a flexión que una sección rectangular con la misma longitud L. Lo que ocurre es que con una sección en I tiene mayor tendencia al pandeo, por lo que hay que poner los nervios N.



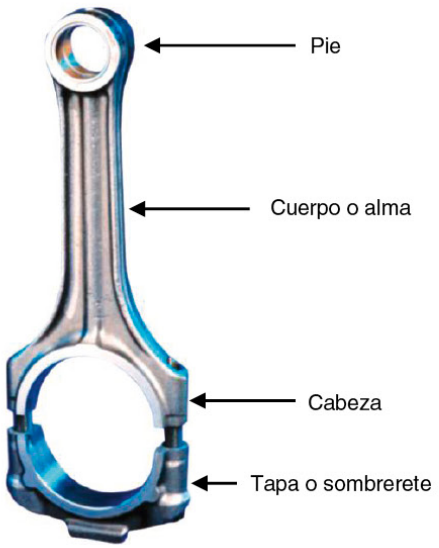


Figura 4.37. *Partes de la biela.*

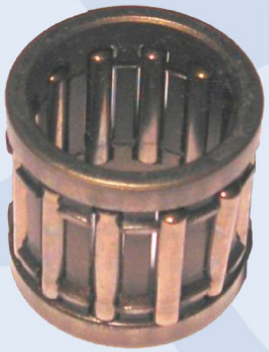
– **El cuerpo o alma de biela:** une el pie con la cabeza de biela. Su sección suele ser en forma de I, con un área creciente desde el pie hasta la cabeza de biela. No se pone una sección cuadrada para no aumentar el peso y la inercia, conservando la resistencia a flexión.

– **La cabeza de biela:** es la parte, junto a la tapa de biela, que se une a la muñequilla del cigüeñal.

– **La tapa o sombrerete de biela:** se une a la cabeza de biela a través de unos tornillos o tuercas generando un orificio circular donde se interponen dos semicojinetes que se ajustan a la muñequilla del cigüeñal.

Sabías que...

En los motores de dos tiempos que llevan engrase por mezcla en el pie y en la cabeza de biela se instalan rodamientos de agujas.



En ocasiones, para algunos motores cuya presión media efectiva dentro del cilindro es elevada, se construye el pie de biela con forma trapezoidal, como muestra la Figura 4.38. De esta forma aumenta la superficie de contacto entre el pistón y el bulón y entre el bulón y el pie de biela en el sentido de la carrera de expansión, repartiendo mejor los esfuerzos.

A veces, la cabeza de biela se une a la tapa de forma inclinada, como aparece en la Figura 4.39. Esto se hace para facilitar el desmontaje y montaje.

La biela se fabrica en una sola pieza incluyendo la tapa. La separación de la cabeza y de la tapa de biela puede hacerse por corte o por impacto. Con esta última forma, mostrada en la Figura 4.40, se consigue una superficie de contacto irregular que hace que solo coincida la tapa con su biela correspondiente. De esta manera se aumenta la superficie de contacto entre cabeza y tapa de biela, incrementando la resistencia y asegurando un ajuste perfecto. Hay que tener en cuenta que con este tipo de uniones se debe cuidar de no dejar las piezas al aire libre mucho tiempo durante el desmontaje porque la suciedad y la corrosión pueden afectar a la superficie y al ajuste entre ambos elementos.

© Ediciones Paraninfo

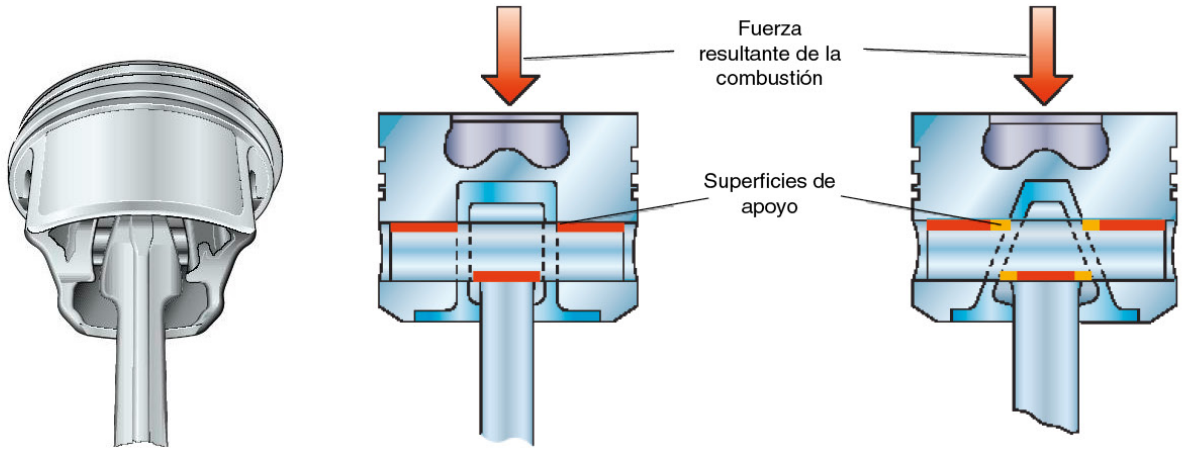


Figura 4.38. *Montaje del pie de biela convencional (izquierda) y con forma trapezoidal (derecha).*

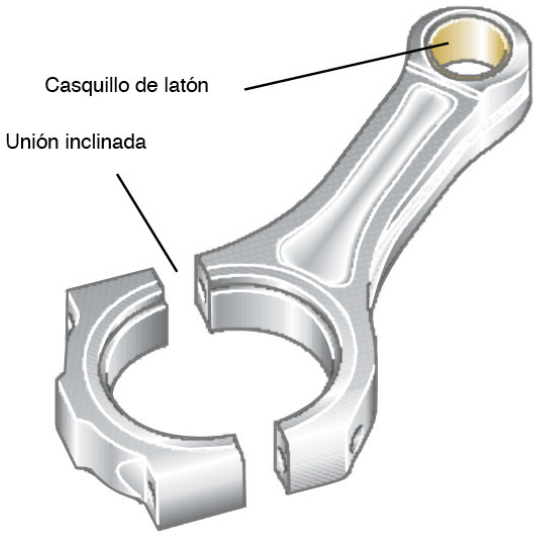


Figura 4.39. *Unión de cabeza y tapa de biela en forma inclinada.*

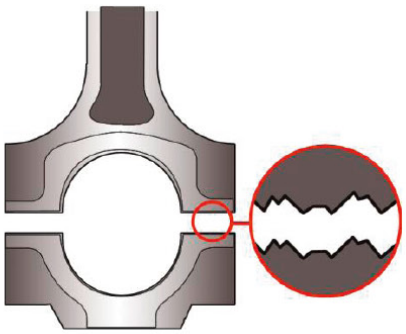


Figura 4.40. *Unión entre cabeza y tapa de biela cuando estas se separan por impacto.*

Los materiales en los que se suele fabricar la biela son aceros al carbono aleados con cromo-níquel o con manganeso-silicio. También es común el empleo de fundiciones de grafito esferoidal. Para motores de altas prestaciones y que giran a revoluciones elevadas pueden emplearse aleaciones ligeras de titanio, por su reducido peso y elevada rigidez. Además, en función de los esfuerzos que vaya a soportar, puede darse forma a la biela bien por mecanizado o bien por forja. Las bielas forjadas son más resistentes debido a la óptima orientación de las fibras del material.

El daño principal que pueden sufrir las bielas es el doblado del cuerpo perdiendo el paralelismo entre el eje del pie y de la cabeza. Se puede comprobar dicho paralelismo desmontando la biela de la muñequilla y del pistón e instalándola en una máquina de metrología específica para este uso. Por falta de engrase pueden dañarse los cojinetes de pie y cabeza de biela, siendo necesaria su sustitución.

- **Cojinetes:** los cojinetes son elementos que se interponen entre dos piezas que tienen movimiento relativo una respecto de la otra, con el fin de disminuir el rozamiento y favorecer la lubricación. Los más importantes son los de la cabeza de biela y los de los apoyos del cigüeñal, como muestra la Figura 4.41.

  Los cojinetes deben reunir las siguientes cualidades:

  – Tener una elevada resistencia a fatiga, a altas temperaturas y a la corrosión.

  – Ser deformables para adaptarse a la forma de muñequillas y apoyos.

  – Tener un coeficiente de fricción bajo.

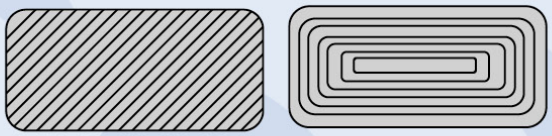
  – Poseer una conductividad térmica elevada.

Normalmente, los cojinetes suelen llevar un talón para facilitar su montaje. Además, es necesario un orificio para permitir el paso de aceite de lubricación y muchos de ellos llevan una acanaladura destinada a este fin.

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

Una pieza, como por ejemplo una pletina, forjada es más resistente que mecanizada. Normalmente los materiales suelen tener una dirección en la que son menos resistentes, por lo que si la pieza es mecanizada tenderá a ser más débil en una dirección. Si la pieza es forjada, la orientación de las fibras es óptima y maximiza la resistencia.



Mecanizada Forjada

Sabías que...

Una propiedad importante de los cojinetes de fricción es la incrustabilidad, que es la capacidad que tienen determinados materiales para permitir la incrustación de partículas. En el caso de los cojinetes es importante para que elementos que no han podido ser filtrados dejen de circular a través del circuito de lubricación y no deterioren ni los cojinetes ni otras piezas del motor.

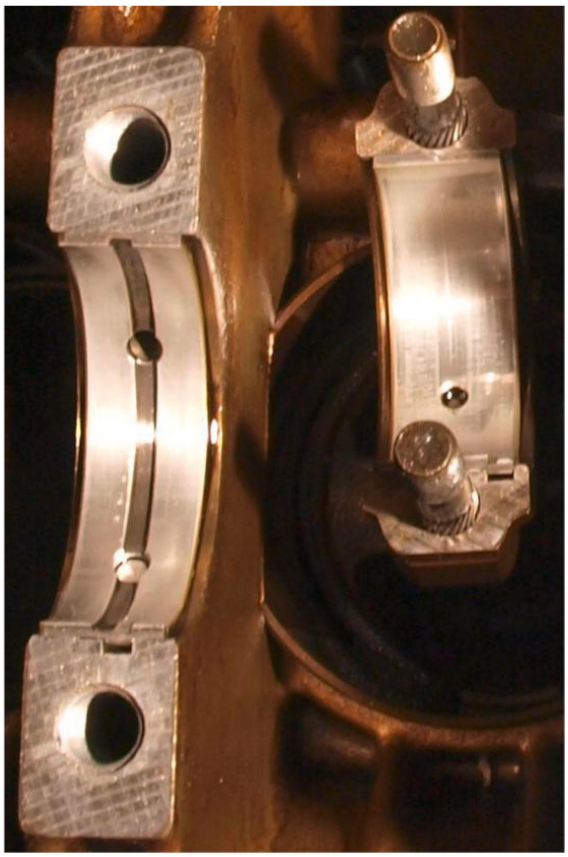


Figura 4.41. *Cojinetes de biela y de apoyo de cigüeñal.*

Otro tipo de cojinetes son los cojinetes axiales, mostrados en la Figura 4.42. Estos son los encargados de hacer de tope cuando el cigüeñal se mueve axialmente, por ejemplo, cuando se desembraga el motor de la caja de cambios al pisar el pedal del embrague. De esta forma se minimiza el rozamiento que tendría el cigüeñal si tocara directamente sobre los apoyos.

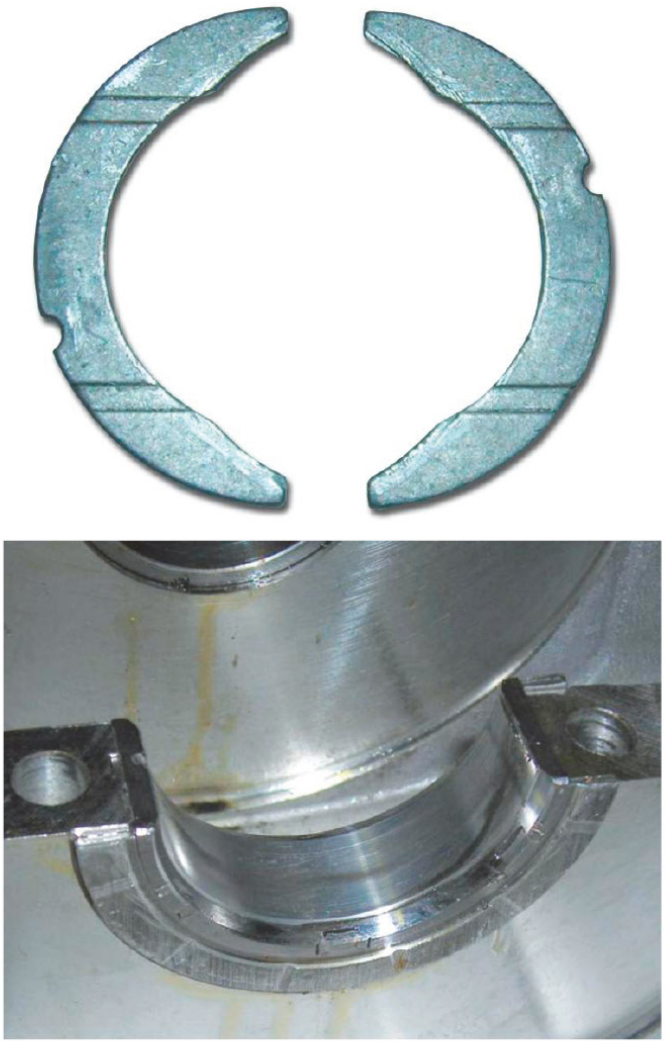


Figura 4.42. *Cojinetes axiales.*

Recuerda que...

Los casquillos antifricción del tipo de los de la cabeza de biela y los apoyos del cigüeñal pueden encontrarse en otras partes del motor como en los apoyos del árbol de levas.

© Ediciones Paraninfo

Los materiales empleados en los cojinetes son fundamentalmente metales blandos, pero estos tienen poca resistencia mecánica, por lo que se suelen fabricar en varias capas, como puede verse en la Figura 4.43. La primera capa suele ser de acero aleado para darle resistencia mecánica. Después se superpone una capa de mezcla de cobre-plomo, que también tiene buenas propiedades mecánicas, y por último una capa de estaño-plomo, metal blanco conocido también como babbitt que tiene buenas propiedades antifricción y una alta incrustabilidad. Algunos cojinetes, tras la capa base de acero, son de aluminio-estaño.

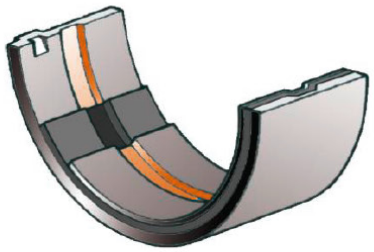


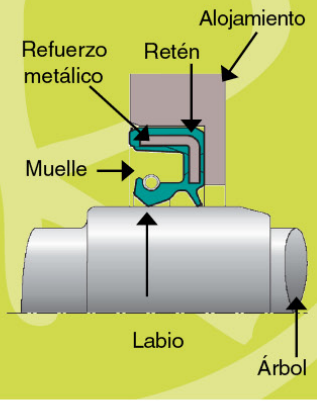
Figura 4.43. *Diferentes capas de metales en un cojinete.*

Los daños que pueden presentar los cojinetes son principalmente los debidos al desgaste propio de las horas de funcionamiento del motor, necesitando en tal caso ser sustituidos para recuperar el juego de montaje especificado. Otra avería puede ser su deformación o rayado, debido a una falta de lubricación o al funcionamiento a altas temperaturas que puede desembocar en un gripado de los mismos. En esas circunstancias habrá que sustituir el cojinete y comprobar los daños en el resto de elementos.

- **Cigüeñal:** es el elemento encargado de convertir la fuerza resultante de los gases tras la combustión, en un par de giro que se transmitirá posteriormente a la cadena cinemática del motor.

Recuerda que...

Los elementos rotativos del motor, como el cigüeñal y los árboles de levas, entre otros, tienen retenes en sus extremos para mantener la estanqueidad del aceite e impedir que entre suciedad del exterior.



El cigüeñal consta de diferentes partes, como puede apreciarse en la Figura 4.44, que son:

– **Los apoyos:** son los muñones que se unen a la bancada, interponiendo dos semicojinetes, constituyendo el eje de giro del cigüeñal. El número de apoyos depende del número de cilindros del motor y del nivel de rigidez que se desee conseguir en el cigüeñal, que irá en función de las prestaciones del motor.

– **Las muñequillas:** son los elementos sobre los que se embridan las cabezas de biela, con interposición de casquillos antifricción. El cigüeñal tiene tantas muñequillas como número de cilindros.

– **El brazo o manivela:** es el elemento que une el apoyo con la muñequilla. La distancia comprendida entre el centro del apoyo y el centro de la muñequilla constituye la manivela y su valor suele ser la mitad de la carrera.

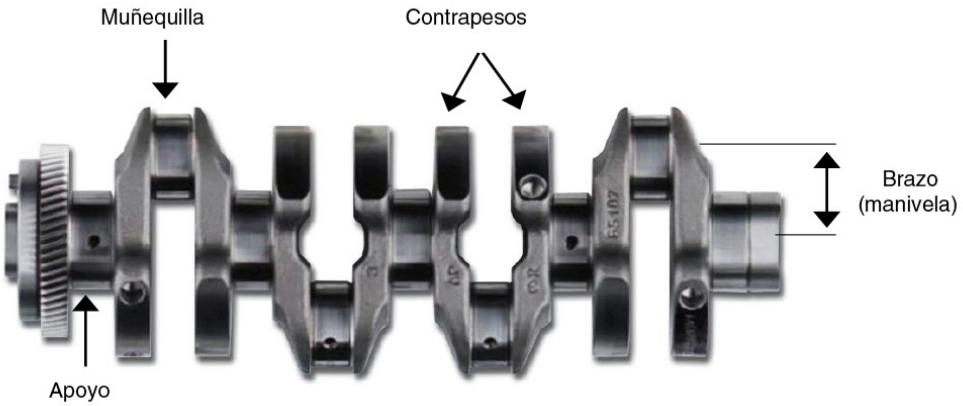


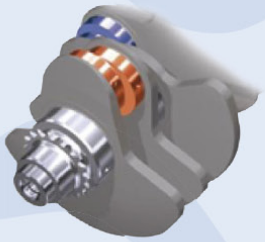
Figura 4.44. *Partes del cigüeñal.*

© Ediciones Paraninfo

– **Los contrapesos:** son unas masas que forman parte del conjunto del cigüeñal y se sitúan diametralmente opuestas a las muñequillas para equilibrar entre el 50 y el 60% de las masas rotativas.

Sabías que...

En algunos motores, como los que tienen disposición de cilindros en V y en W, se comparte una misma muñequilla para dos cilindros, introduciendo un desfase entre la parte de la muñequilla que se une a la cabeza de biela de un cilindro y la otra.



El cigüeñal tiene mecanizados en su interior unos conductos, según la Figura 4.45, para que circule el aceite, que desembocan en unos orificios situados en muñequillas y apoyos, con el fin de lubricar las piezas en movimiento y evitar al máximo el contacto sólido-sólido.

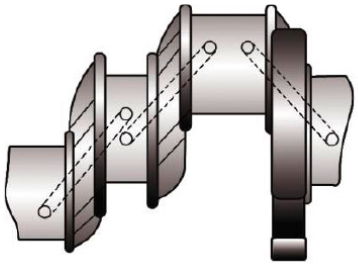
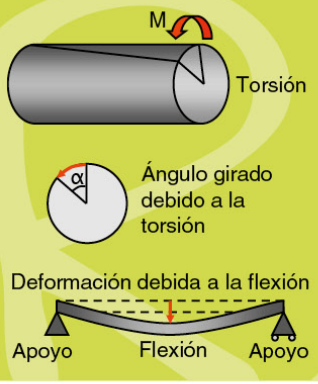


Figura 4.45. *Conductos y orificios de aceite en el cigüeñal.*

Recuerda que...

Los esfuerzos principales a los que está sometido el cigüeñal son:



El movimiento lineal y alternativo del pistón es transformado en rotatorio a través del mecanismo biela-manivela, siendo la manivela el brazo del cigüeñal, como puede verse en la Figura 4.46.

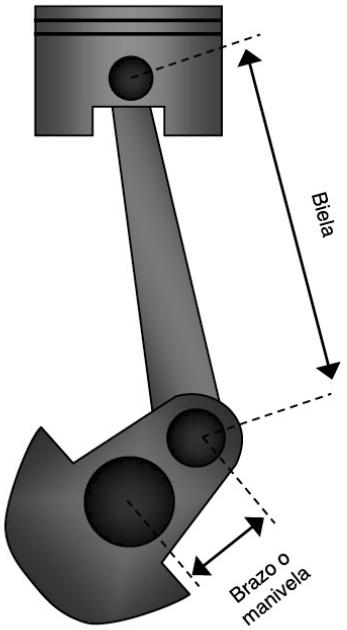


Figura 4.46. *Esquema del mecanismo biela-manivela.*

El cigüeñal está sometido a diferentes esfuerzos, como por ejemplo:

– **Torsión:** debido al par de giro generado por los cilindros en oposición al par resistente del movimiento del vehículo y de los pistones que han de ser arrastrados en las fases de admisión, compresión y escape.

– **Flexión:** debido a la fuerza de la biela transmitida por la presión de los gases, sobre todo durante la expansión, que actúa sobre la muñequilla y esta está sujeta entre dos apoyos de la bancada.

Además de estos esfuerzos, el cigüeñal está expuesto a vibraciones, tanto en el sentido de la flexión como en el de la torsión debido a la irregularidad cíclica, ya que funciona a impulsos, cada vez que un cilindro está en fase de expansión.

Si a todo lo anterior se le suma que debe de resistir la fatiga y el desgaste, los requerimientos de diseño son muy exigentes para esta pieza, siendo los más importantes los siguientes:

– Ha de ser rígido y resistente, manteniendo un cierto grado de elasticidad para no sufrir deformaciones permanentes.

– Deben diseñarse adecuadamente los diámetros de apoyos y muñequillas.

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

En el motor actúan dos tipos de fuerzas:

- *Fuerzas alternativas de inercia:* son las debidas al movimiento alternativo del pistón. Se dividen en dos tipos, de primer orden (debido al cambio de velocidad del pistón cuando pasa por el PMS y el PMI) y de segundo orden (debido a la aceleración que experimenta el pistón).
- *Fuerzas centrífugas:* debidas al movimiento de las masas rotatorias.

Para simplificar el estudio dinámico del motor las masas se reducen a dos puntos, uno que se mueve según el pistón (masas alternativas) y otro que se mueve según el cigüeñal (masas rotativas). El cuerpo de la biela tiene un movimiento mixto y se considera que 2/3 del mismo se mueven de forma alternativa y 1/3 de forma rotativa. De esta forma las masas se reparten como sigue:

- *Masas alternativas:* pistón, segmentos, bulón, pie de biela y 2/3 del cuerpo de biela
- *Masas rotativas:* cabeza de biela con tapa, cojinete, tornillos y tuercas, muñequilla, brazos y contrapesos del cigüeñal y 1/3 del cuerpo de biela.

Las masas rotativas se equilibran con los contrapesos del cigüeñal y las fuerzas alternativas con los ejes de equilibrado.

– Hay que conseguir un nivel de recubrimiento elevado para aumentar la rigidez. El recubrimiento es el solapamiento existente entre la proyección de la sección del apoyo y de la muñequilla, como muestra la Figura 4.47. Es positivo cuando el radio del apoyo sumado al de la muñequilla da un valor superior a la longitud de la manivela.

– Han de evitarse agujeros, como los de lubricación, en lugares donde pueda generarse una concentración de tensiones. Por este motivo han de generarse radios de acuerdo elevados. Un radio de acuerdo es el acabado entre dos superficies unidas. Un acabado recto favorece la concentración de tensiones, mientras que un acabado curvo las evita, como representa la Figura 4.48.

Una característica importante del cigüeñal es su equilibrado. El motor en su conjunto ha de estar equilibrado, es decir, que durante su funcionamiento en régimen permanente las fuerzas y momentos resultantes, transmitidos a sus soportes o silentblocks, son constantes en magnitud, dirección y sentido o se anulan entre sí. Para conseguir esto, es necesario, entre otros requisitos, que el cigüeñal esté equilibrado estática y dinámicamente.

– **Equilibrado estático:** un cigüeñal está equilibrado estáticamente cuando su centro de gravedad está situado en un punto de su eje de giro. Esto significa que si el cigüeñal se sitúa horizontalmente entre dos apoyos, no se

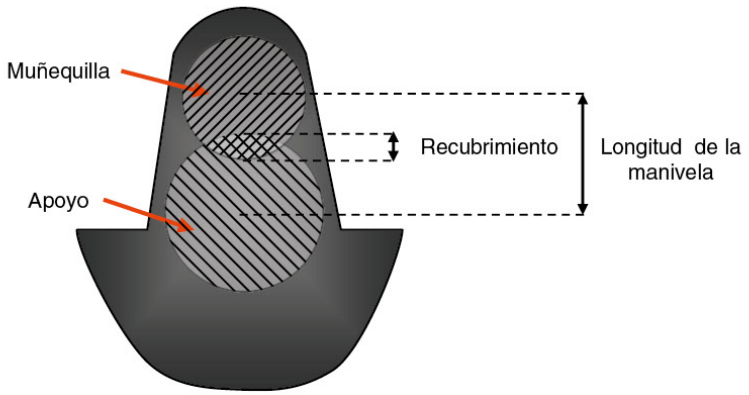


Figura 4.47. *Recubrimiento del cigüeñal.*

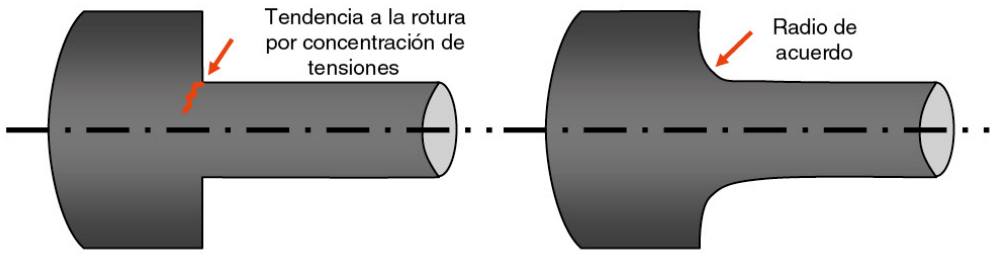


Figura 4.48. *Ejemplo de concentración de tensiones con y sin radio de acuerdo en un eje donde existe un salto de sección.*

© Ediciones Paraninfo

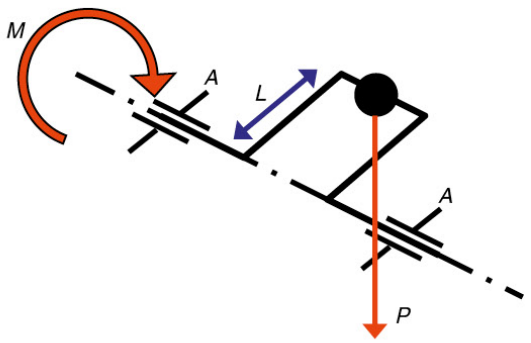
mueve, independientemente de su posición angular. Para conseguir esto, además de desfasar equitativamente de forma angular las muñequillas se recurre a la variación de masa en los contrapesos. En los motores monocilíndricos o bicilíndricos con muñequillas alineadas solo se puede equilibrar mediante los contrapesos. La Figura 4.49 muestra esquemáticamente el fenómeno del equilibrio estático para un motor monocilíndrico, siendo extensible para un policilíndrico.

– **Equilibrado dinámico:** se dice que un cigüeñal está equilibrado dinámicamente cuando las fuerzas centrífugas generadas por las masas rotativas están equilibradas y no generan un par de giro a lo largo de su eje, como muestra esquemáticamente la Figura 4.50, donde aparece representado el cigüeñal de un motor bicilíndrico de cuatro tiempos con sus muñequillas desfasadas 180°. Esto es aplicable al resto de motores con diferentes cilindros aunque algunos de ellos, dada la disposición de las muñequillas, están equilibrados estática y dinámicamente, como el caso de los motores de cuatro y seis cilindros en línea de cuatro tiempos, entre otros.

Uno de los materiales que se utilizan para la fabricación del cigüeñal es la fundición de grafito esferoidal (GS), obteniéndose la geometría del cigüeñal en bruto, de una forma económica para motores convencionales. Otra opción para motores de altas prestaciones es el empleo de acero aleado al que mediante un proceso de estampación o forja en varias fases se obtienen las diferentes orientaciones angulares de las muñequillas. Tras la obtención de la geometría del cigüeñal, se mecanizan las partes de precisión, como los apoyos y las muñequillas, así como los orificios de lubricación. Por último se le practican una serie de tratamientos térmicos para el endurecimiento superficial de las muñequillas y apoyos como la cementación o la nitruración, aunque actualmente está muy extendido el temple superficial por inducción. También puede aplicarse un galeteado, que consiste en reforzar el cigüeñal en muñequillas y apoyos golpeando esas zonas para comprimir las fibras. Posteriormente se procede al equilibrado del cigüeñal eliminando material de los contrapesos mediante taladros. En la Figura 4.51 pueden verse algunas particularidades del acabado final del cigüeñal.

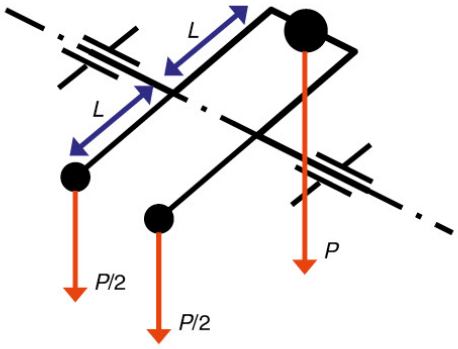
Los daños más frecuentes del cigüeñal son el desgaste de muñequillas y apoyos por las horas de funcionamiento del motor o el deterioro de los mismos por deficiencias en la lubricación o gripado de algún componente que hace que se incrusten en los cojinetes partículas que dañan las superficies de contacto.

- **Ejes de equilibrado:** las fuerzas centrífugas debidas al giro de las masas rotativas, que son las que se reducen en la cabeza de biela y siguen la trayectoria de la muñequilla del cigüeñal, se equilibran con los contrapesos del cigüeñal. Las fuerzas alternativas de inercia debidas a las masas reducidas en el pie de biela que siguen el movimiento del pistón, hay que equilibrarlas de otra manera. Además, dentro de las fuerzas de inercia alternativas, se distinguen dos tipos:
  – **De primer orden:** varían a la misma velocidad de giro del cigüeñal.
  – **De segundo orden**: varían al doble de velocidad de giro del cigüeñal.



Cigüeñal no equilibrado estáticamente. Cuando se sitúa sobre dos apoyos (*A*), por el peso (*P*) de las masas rotativas situadas a una longitud igual al radio de la manivela (*L*), se genera un par o momento de giro (*M*) que provocará que las masas rotativas se sitúen en el punto más bajo, moviéndose el cigüeñal.

$M = P \cdot L$

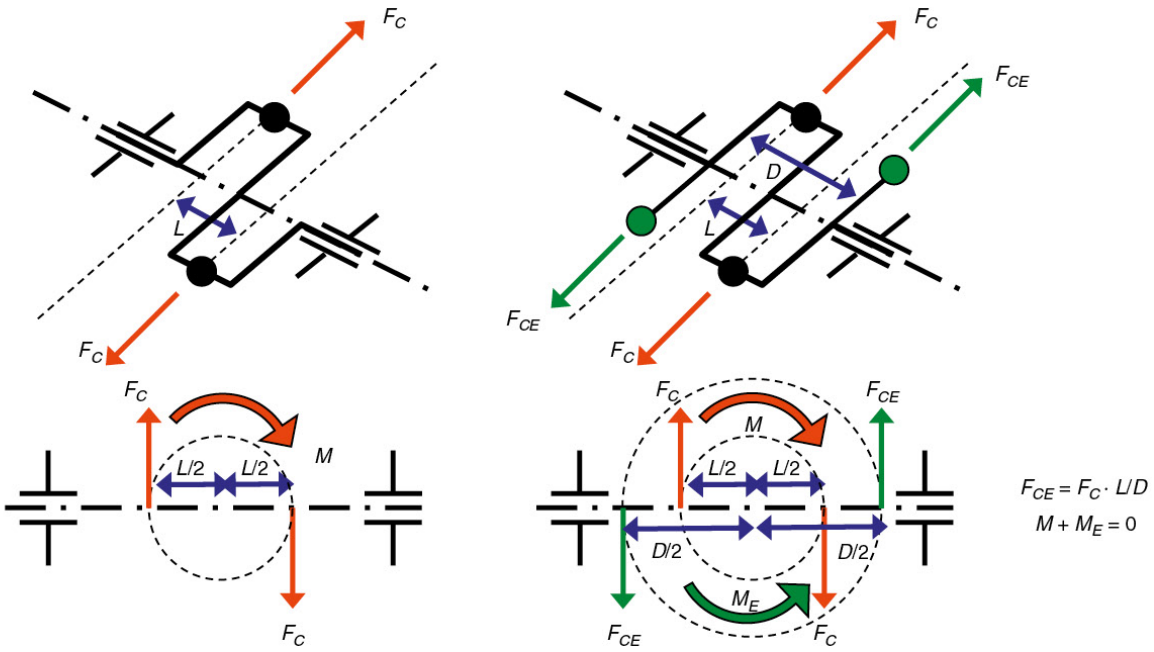


Cigüeñal equilibrado estáticamente. Si se sitúan dos masas iguales de la mitad del valor de las masas rotativas, cada una genera un peso *P*/2. Si además se colocan a una distancia igual al radio de la manivela y diametralmente opuestas a las masas rotativas, el momento generado es de igual magnitud pero diferente sentido que *M*, anulándose y permaneciendo el cigüeñal inmóvil.

$M_{TOTAL} = P \cdot L - P/2 \cdot L - P/2 \cdot L = 0$

Figura 4.49. *Equilibrado estático del cigüeñal de un motor monocilíndrico.*

© Ediciones Paraninfo



Cigüeñal no equilibrado dinámicamente. Considerando un motor bicilíndrico cuyas muñequillas están desfasadas 180º, sus dos masas centrífugas generan dos fuerzas centrífugas que provocan un par de giro en el plano perpendicular y longitudinal al eje del cigüeñal. Si las masas están separadas una distancia L y cada una de ellas genera una fuerza centrífuga F_C, tomando momentos con respecto al centro del cigüeñal el par generado tiene un valor de:

$$M = F_C \cdot L/2 + F_C \cdot L/2$$

$$M = F_C \cdot L$$

Cigüeñal equilibrado dinámicamente. Considerando el mismo motor bicilíndrico, ahora se colocan dos contrapesos separados una distancia D. Para calcular la fuerza centrífuga equilibradora F_{CE}, hay que volver a tomar momentos con respecto al centro del cigüeñal, teniendo en cuenta que el par equilibrador generado (M_E) ha de anular al par M.

$$M = M_E$$

$$F_C \cdot L = F_{CE} \cdot D/2 + F_{CE} \cdot D/2$$

$$F_C \cdot L = F_{CE} \cdot D$$

$$F_{CE} = F_C \cdot L/D$$

Figura 4.50. *Equilibrado dinámico de un motor bicilíndrico con muñequillas desfasadas 180°.*

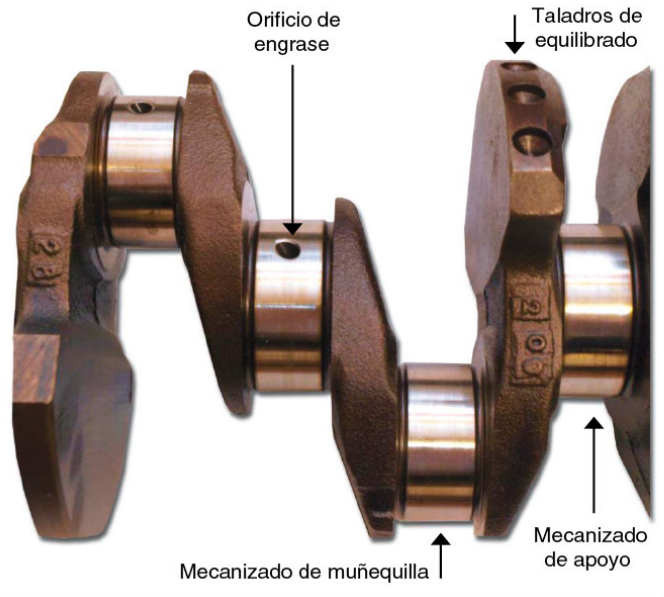


Figura 4.51. *Partes mecanizadas del cigüeñal tras la obtención de su geometría.*

En función del número y disposición de los cilindros, se pueden generar momentos longitudinales que no quedan equilibrados.

Para compensar este tipo de fuerzas y momentos se pueden instalar ejes de equilibrado, que consisten en ejes que giran en sentido inverso al cigüeñal que contienen unas masas desequilibradas, pero que con el movimiento conjunto del tren alternativo equilibran fuerzas alternativas de inercia de primer orden, de segundo orden o momentos no compensados.

Los motores que tienen desfasadas sus muñequillas en igual número un mismo ángulo, suelen tener equilibradas las fuerzas alternativas de inercia de primer orden, pero no las de segundo orden. En motores monocilíndricos hay que compensar las fuerzas de primer y segundo orden. Quizás este ejemplo de motor de un solo cilindro sea el más ilustrativo a la hora de comprender cómo se compensan las fuerzas alternativas de inercia. La Figura 4.52 muestra el equilibrado de un motor monocilíndrico de cuatro tiempos.

© Ediciones Paraninfo

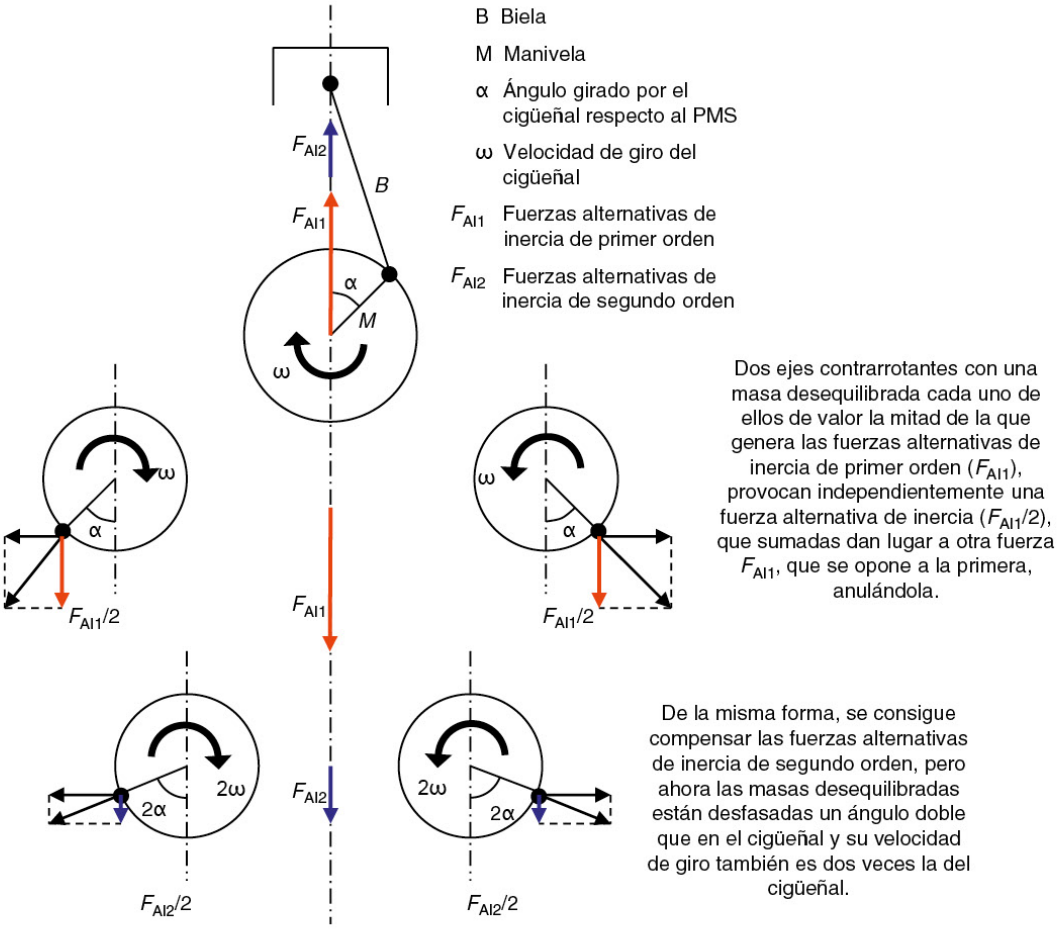


Figura 4.52. *Compensación de las fuerzas alternativas de inercia de primer y segundo orden en un motor monocilíndrico de cuatro tiempos.*

Como puede verse, las fuerzas alternativas de inercia se compensan con dos ejes de equilibrado contrarrotantes paralelos al cigüeñal, que giran en sentido contrario al del cigüeñal pero a su misma velocidad. Para compensar las fuerzas alternativas de inercia de segundo orden se procede de la misma forma pero la velocidad de giro de los ejes es el doble que la del cigüeñal.

En los motores de cuatro cilindros en línea de cuatro tiempos, las fuerzas alternativas de inercia de primer orden se anulan debido a la disposición simétrica de las muñequillas del cigüeñal. No ocurre lo mismo con las de segundo orden, que a pesar de tener menos influencia que las de primer orden, en motores de gasolina de cilindradas elevadas y en motores diésel, cobran mayor importancia. Por ello pueden instalarse ejes de equilibrado como el mostrado en la Figura 4.53, donde aparece el conjunto del tren alternativo con los ejes contrarrotantes, cuyas poleas tienen la mitad de número de dientes que las del cigüeñal, para que giren al doble de velocidad.

En ocasiones, los ejes de equilibrado se ubican en una carcasa que se atornilla a la bancada y son movidos por engranajes, como muestra la Figura 4.54.

Como es evidente, la sincronización entre el movimiento del cigüeñal y los árboles de equilibrado ha de ser perfecto, por lo que hay que tenerlo en cuenta en las operaciones de desmontaje y montaje.

- **Orden de encendido:** como es sabido, el par motor no es una magnitud constante en un ciclo completo del motor, ya que la única carrera que proporciona trabajo es la expansión. La Figura 4.55 representa la evolución del par de un motor monocilíndrico de cuatro tiempos. Dado que hay unas zonas en las que el par es positivo y otras en las que es negativo, sumado al pico de par tras la combustión, se puede intuir que el motor tiene una cierta irregularidad en su funcionamiento. El grado de irregularidad de un motor se define como la relación que existe entre el valor máximo y el valor medio del par motor en un

© Ediciones Paraninfo

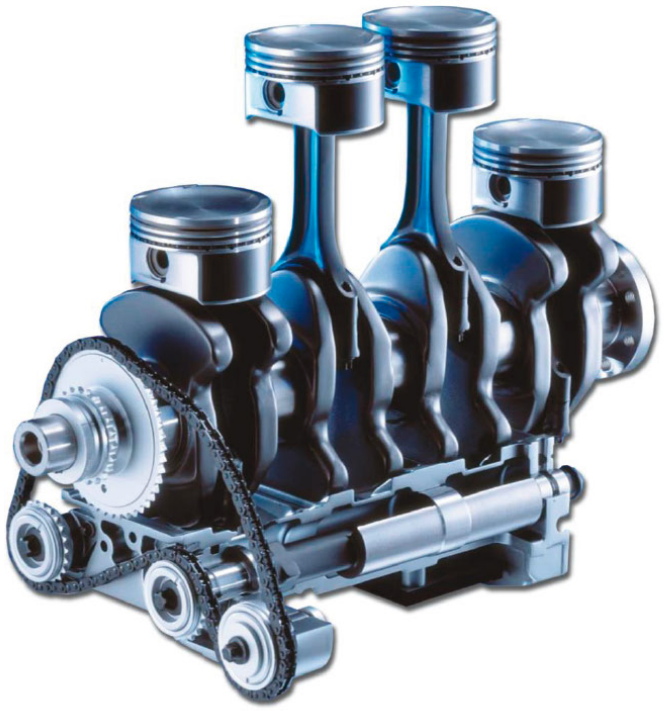


Figura 4.53. *Conjunto del tren alternativo con ejes contrarrotantes de un motor de cuatro cilindros en línea de cuatro tiempos.*

ciclo de trabajo. Otra forma de definirlo es relacionando la diferencia entre las velocidades máxima y mínima de rotación con la velocidad media de rotación.

En un motor policilíndrico, a medida que aumenta el número de cilindros, la irregularidad disminuye al haber más carreras de trabajo en dos vueltas completas del cigüeñal, e incluso se pueden solapar, dando una cierta continuidad al funcionamiento.

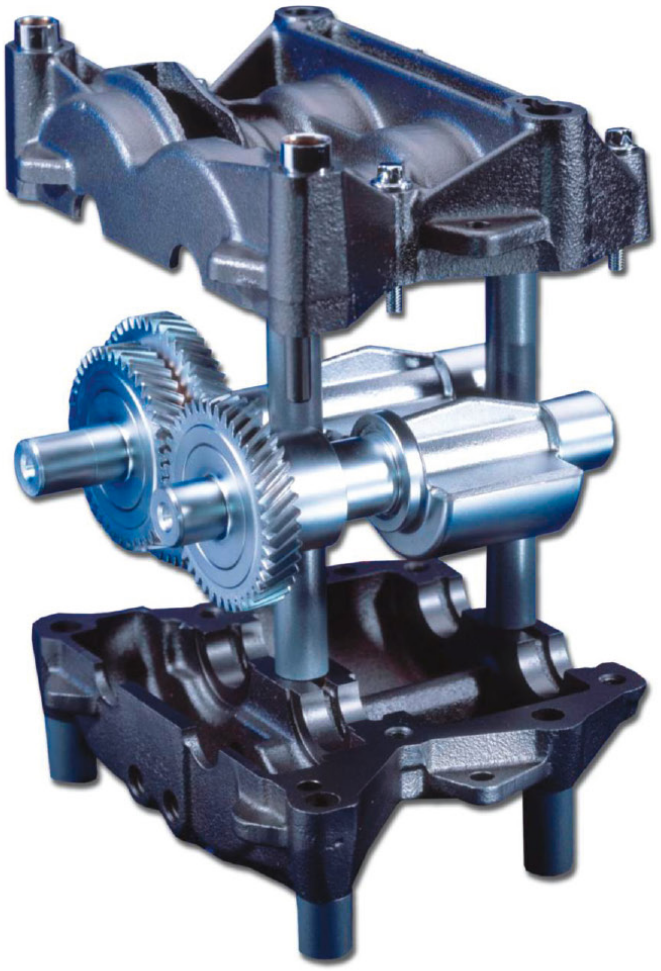


Figura 4.54. *Conjunto de ejes de equilibrado.*

Para ayudar a la regularidad del funcionamiento del motor es importante elegir un orden de encendido adecuado, de forma que como norma general no se den dos

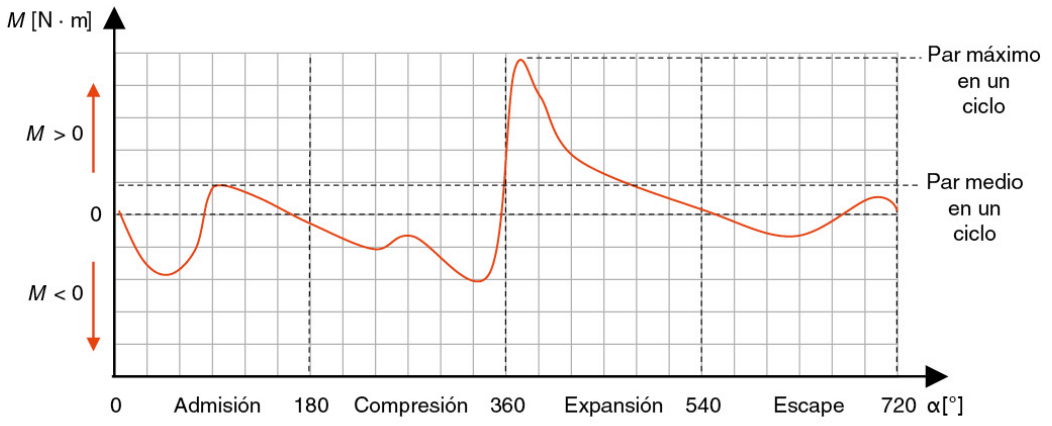


Figura 4.55. *Evolución del par en un ciclo de trabajo para un motor monocilíndrico de cuatro tiempos.*

© Ediciones Paraninfo

combustiones al mismo tiempo y estén desfasadas lo máximo y más uniformemente posible. El desfase angular, medido en el cigüeñal, para cada intervalo entre encendidos se calcula de la siguiente forma:

– **Para motores de 4 tiempos:**

$$Intervalo\ entre\ encendidos = \frac{720°}{N.º\ de\ cilindros}$$

– **Para motores de 2 tiempos:**

$$Intervalo\ entre\ encendidos = \frac{360°}{N.º\ de\ cilindros}$$

La elección de un correcto orden de encendido contribuye a:

– Tener un par motor más uniforme.
– Reducir las vibraciones.
– Repartir los esfuerzos sobre los apoyos del cigüeñal.
– Disminuir los esfuerzos torsionales en el cigüeñal.
– Favorecer la evacuación de calor al intentar no tener dos combustiones consecutivas en cilindros colindantes.

No se puede tomar cualquier orden de encendido, aunque parezca el más óptimo, ya que su elección está limitada por la disposición de las muñequillas del cigüeñal que permiten el mejor equilibrado del mismo.

A continuación se van a exponer algunos órdenes de encendido frecuentes para motores de cuatro tiempos:

– **Motores de dos cilindros:**

$$Intervalo\ entre\ encendidos = \frac{720°}{2} = 360°$$

Este intervalo de encendidos es factible si los cilindros se sitúan en línea con las muñequillas del cigüeñal a 360°, aunque el cigüeñal necesite de ejes contrarrotantes, u opuestos con las muñequillas del cigüeñal desfasadas 180°.

La Figura 4.56 muestra un cigüeñal que cumple con la disposición de muñequillas desfasadas 360°.

Figura 4.56. *Cigüeñal de un motor de dos cilindros de cuatro tiempos con muñequillas desfasadas 360°.*

La Figura 4.57 representa esquemáticamente la disposición de las muñequillas del cigüeñal y la posición de los pistones en un motor de dos cilindros en línea y opuestos.

La secuencia de tiempos queda como en la Tabla 4.1, donde cada tiempo dura 180° y el intervalo entre el inicio de

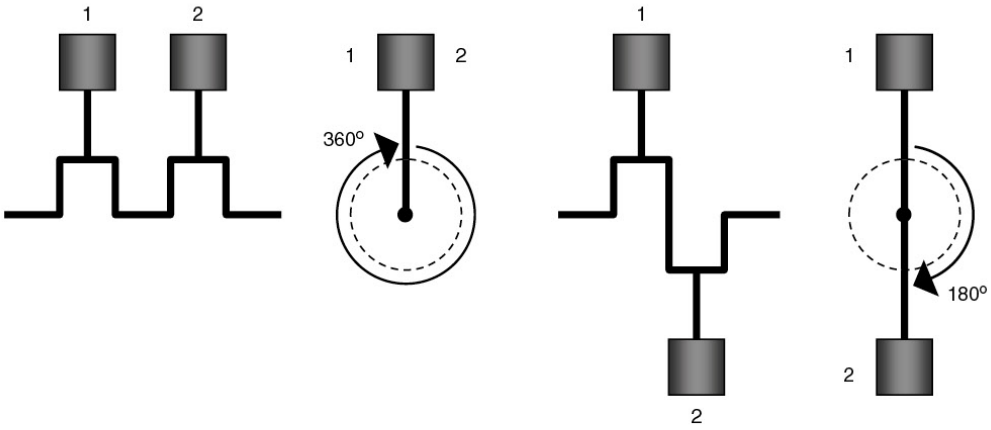


Figura 4.57. *Disposición de las muñequillas en un motor de dos cilindros en línea (izquierda) y opuestos (derecha).*

TABLA 4.1

0°	180°	360°	540°	720°
Cilindro 1	Expansión	Escape	Admisión	Compresión
Cilindro 2	Admisión	Compresión	Expansión	Escape
	IE = 360°			

© Ediciones Paraninfo

la expansión del cilindro 1 y la expansión del cilindro 2 es 360°, en la tabla intervalo entre encendidos (IE).

– **Motores de tres cilindros en línea:**

El orden de encendido es 1 – 2 – 3.

$$Intervalo\ entre\ encendidos = \frac{720°}{3} = 240°$$

Para poder realizar este orden de encendido es necesario montar las muñequillas del cigüeñal desfasadas 120°. En este tipo de motores resulta imprescindible instalar ejes de equilibrado ya que las fuerzas de inercia de primer orden no están compensadas.

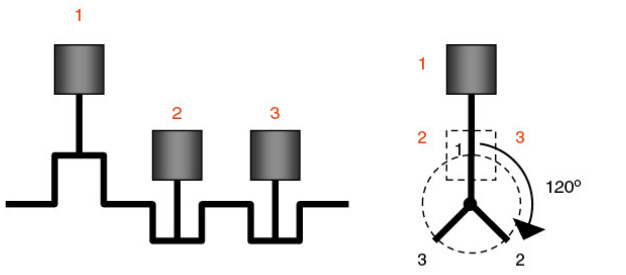


Figura 4.58. *Posición de las muñequillas del cigüeñal y de los pistones de un motor de tres cilindros en línea de cuatro tiempos con orden de encendido 1 – 2 – 3.*

La Figura 4.58 muestra la posición de las muñequillas del cigüeñal y de este tipo de motores.

La secuencia de tiempos queda como en la Tabla 4.2, donde cada tiempo dura 180° y el intervalo entre encendidos es de 240°.

– **Motores de cuatro cilindros en línea y opuestos (bóxer):**

$$Intervalo\ entre\ encendidos = \frac{720°}{4} = 180°$$

El orden de encendido es 1 – 3 – 4 – 2 o 1 – 2 – 4 – 3 para motores en línea, aunque lo más común es emplear el primero. Para motores con cilindros opuestos es de 1 – 4 – 3 – 2. Las muñequillas están desfasadas 180° dos a dos convenientemente para equilibrar el cigüeñal, como muestra la Figura 4.59.

La secuencia de tiempos para los motores de la Figura 4.59 queda reflejada en las Tablas 4.3 y 4.4, siendo la primera la correspondiente al motor de cilindros en línea y la segunda a la de cilindros opuestos.

– **Motores de cinco cilindros en línea:**

$$Intervalo\ entre\ encendidos = \frac{720°}{5} = 144°$$

TABLA 4.2

	0°	180°	360°	540°	720°
Cilindro 1	Expansión	Escape	Admisión	Compresión	
Cilindro 2		Compresión	Expansión	Escape	Admisión
Cilindro 3	Escape	Admisión	Compresión	Expansión	

IE = 240°

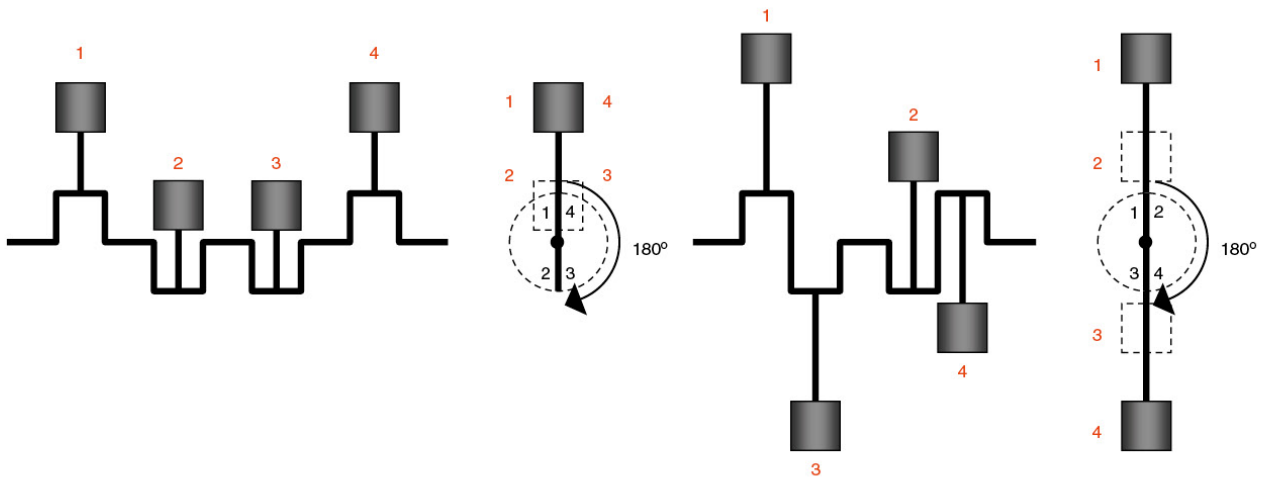


Figura 4.59. *Disposición de las muñequillas del cigüeñal y de los pistones de un motor de cuatro cilindros en línea con orden de encendido 1 – 3 – 4 – 2 y de cuatro cilindros opuestos con orden de encendido 1 – 4 – 3 – 2.*

© Ediciones Paraninfo

TABLA 4.3

0°	180°	360°	540°	720°
Cilindro 1	Expansión	Escape	Admisión	Compresión
Cilindro 2	Escape	Admisión	Compresión	Expansión
Cilindro 3	Compresión	Expansión	Escape	Admisión
Cilindro 4	Admisión	Compresión	Expansión	Escape
	IE = 180°			

TABLA 4.4

0°	180°	360°	540°	720°
Cilindro 1	Expansión	Escape	Admisión	Compresión
Cilindro 2	Escape	Admisión	Compresión	Expansión
Cilindro 3	Admisión	Compresión	Expansión	Escape
Cilindro 4	Compresión	Expansión	Escape	Admisión
	IE = 180°			

En los motores de cinco cilindros en línea, el orden de encendido suele ser 1 – 2 – 4 – 5 – 3, aunque también es posible la combinación 1 – 3 – 5 – 4 – 2. Para conseguir esto, todas las muñequillas están desfasadas 72°, como puede verse en la Figura 4.60.

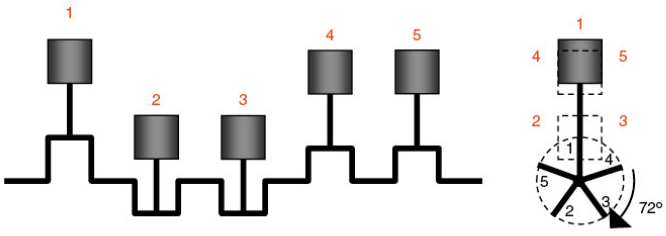


Figura 4.60. *Configuración de las muñequillas del cigüeñal y de los pistones de un motor de cinco cilindros en línea con orden de encendido 1 – 2 – 4 – 5 – 3.*

La secuencia de tiempos para este tipo de motores es la mostrada en la Tabla 4.5.

– **Motores de seis cilindros en línea y en V:**

$$\textit{Intervalo entre encendidos} = \frac{720°}{6} = 120°$$

Uno de los posibles órdenes de encendido para motores de seis cilindros en línea es 1 – 5 – 3 – 6 – 2 – 4, con muñequillas desfasadas 120°. Para motores de seis cilindros en V, un posible orden de encendido es 1 – 3 – 6 – 5 – 4 – 2. En los motores en V, se puede compartir la misma muñequilla para cada dos cilindros enfrentados, pero dependiendo del ángulo de la V, hay que desfasar las muñequillas unos ciertos grados, aunque estén en el mismo muñón del cigüeñal, por ejemplo, en motores con V a 90°, las muñequillas del mismo muñón se desfasan 30°. Otra opción es que haya una muñequilla por cilindro, desfasándose 60°. La Figura 4.61 muestra dos posibles configuraciones de estos motores.

Las secuencias de tiempos para los motores de la Figura 4.61 son las representadas en las Tablas 4.6 y 4.7, siendo la primera para el motor de seis cilindros en línea y la segunda para el motor en V.

– **Motores de ocho cilindros en V:**

$$\textit{Intervalo entre encendidos} = \frac{720°}{8} = 90°$$

TABLA 4.5

0°	180°	360°	540°	720°
Cilindro 1	Expansión	Escape	Admisión	Compresión
Cilindro 2	Compresión	Expansión	Escape	Admisión
Cilindro 3	Escape	Admisión	Compresión	Expansión
Cilindro 4	Admisión	Compresión	Expansión	Escape
Cilindro 5	Admisión	Compresión	Expansión	Escape
	IE = 144°			

© Ediciones Paraninfo

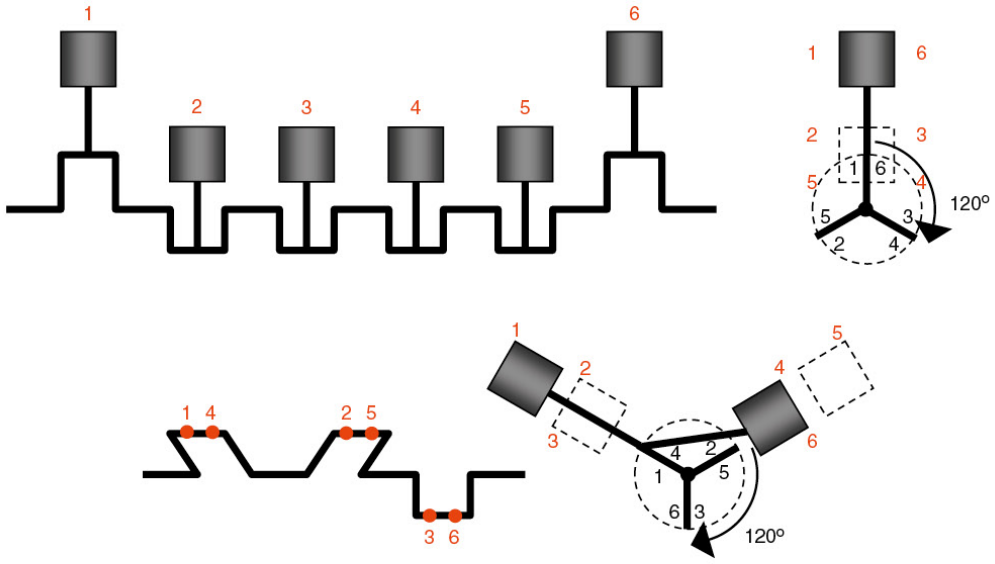


Figura 4.61. *Disposición de muñequillas y pistones de un motor de seis cilindros en línea con orden de encendido 1-5-3-6-2-4 y de seis cilindros en V con orden de encendido 1-3-6-5-4-2, con V a 120° y muñequillas compartidas cada dos cilindros.*

TABLA 4.6

0°	180°	360°	540°	720°
Cilindro 1	Expansión	Escape	Admisión	Compresión
Cilindro 2	Escape	Admisión	Compresión	Expansión
Cilindro 3	Compresión	Expansión	Escape	Admisión
Cilindro 4	Escape	Admisión	Compresión	Expansión
Cilindro 5	Compresión	Expansión	Escape	Admisión
Cilindro 6	Admisión	Compresión	Expansión	Escape

IE = 120°

TABLA 4.7

0°	180°	360°	540°	720°
Cilindro 1	Expansión	Escape	Admisión	Compresión
Cilindro 2	Escape	Admisión	Compresión	Expansión
Cilindro 3	Compresión	Expansión	Escape	Admisión
Cilindro 4	Escape	Admisión	Compresión	Expansión
Cilindro 5	Admisión	Compresión	Expansión	Escape
Cilindro 6	Compresión	Expansión	Escape	Admisión

IE = 120°

Para conseguir el intervalo entre encendidos adecuado en un motor de ocho cilindros en V se disponen las muñequillas a 90°, y suelen compartirse para cada dos cilindros enfrentados. Un posible orden de encendido es 1 – 5 – 4 – 8 – 6 – 3 – 7 – 2. La Figura 4.62 representa la ubicación de muñequillas y pistones de un motor de este tipo.

La secuencia de tiempos para el motor de la Figura 4.62 es la que se puede ver en la Tabla 4.8.

- **Volante de inercia:** aunque un motor esté muy bien equilibrado y su orden de encendido sea el más adecuado para su buen funcionamiento, dado que en cada ciclo la

© Ediciones Paraninfo

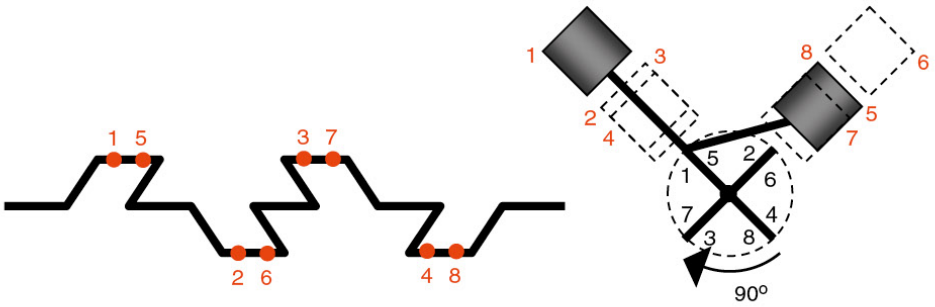


Figura 4.62. *Disposición de muñequillas y pistones de un motor de seis cilindros en V con orden de encendido 1 – 5 – 4 – 8 – 6 – 3 – 7 – 2.*

TABLA 4.8

0°	180°	360°	540°	720°
Cilindro 1	Expansión	Escape	Admisión	Compresión
Cilindro 2	Escape	Admisión	Compresión	Expansión
Cilindro 3	Admisión	Compresión	Expansión	Escape
Cilindro 4	Compresión	Expansión	Escape	Admisión
Cilindro 5	Expansión	Escape	Admisión	Compresión
Cilindro 6	Admisión	Compresión	Expansión	Escape
Cilindro 7	Escape	Admisión	Compresión	Expansión
Cilindro 8	Compresión	Expansión	Escape	Admisión

IE = 90°

única carrera que proporciona trabajo es la expansión, el motor tiene una cierta irregularidad en su funcionamiento. Esto significa que su velocidad de giro no es constante y oscila entre un valor mínimo y uno máximo para un determinado régimen de giro. Si por ejemplo suponemos que el motor está girando a 900 rpm, ese es el régimen promedio, pero si se mide la velocidad con la instrumentación adecuada puede observarse que la velocidad es fluctuante, como representa la Figura 4.63.

El volante de inercia, mostrado en la Figura 4.64, trata de reducir la irregularidad de funcionamiento o irregularidad cíclica del motor. Consiste en un elemento circular que se atornilla en un extremo del cigüeñal y que posee una elevada masa. Su función es almacenar energía durante las fases de trabajo, es decir, durante las expansiones, y devolverla en las fases en que es necesario mover el motor, sobre todo en las compresiones. Normalmente su periferia se aprovecha para tallar los dientes que engranarán con el piñón del motor de arranque, proporcionando una reducción elevada. También a su alrededor suele tallarse o insertarse una corona con una serie de almenas que generan una rueda fónica que cuando gira informa a un sensor inductivo o de tipo Hall sobre el régimen de giro del motor y la posición de PMS de uno de los cilindros.

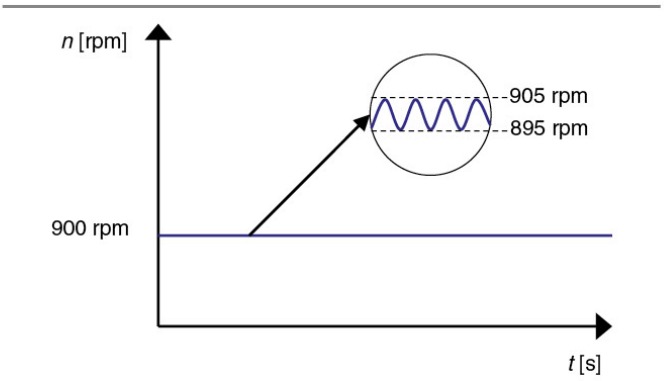


Figura 4.63. *Ejemplo de evolución del régimen de giro en función del tiempo de un motor, suponiendo un régimen promedio de 900 rpm.*

A pesar de que el volante de inercia ayuda a mantener una regularidad cíclica de giro del motor, siempre van a existir oscilaciones en la velocidad con una cierta frecuencia. Si la frecuencia de la vibración torsional coincide con la frecuencia propia de torsión del cigüeñal, puede dar lugar a una resonancia, aumentando la amplitud de la vibración y provocando la rotura del cigüeñal. Para evitar esto, se pueden instalar poleas "dumper" o amortiguadores torsionales, en el lado de la distribución,

© Ediciones Paraninfo

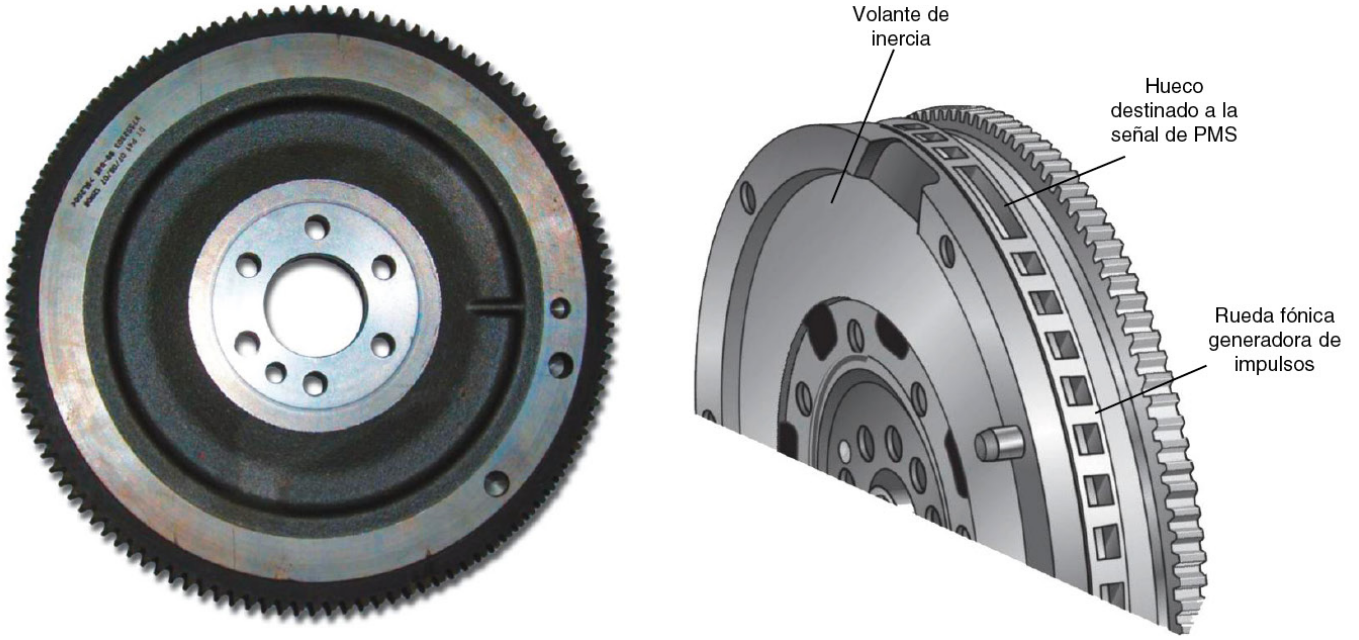


Figura 4.64. *Volante de inercia.*

moviendo la correa de accesorios. La idea es que estos elementos absorban la energía torsional fluctuante del cigüeñal, amortiguándola. Este tipo de amortiguadores pueden ser de dos tipos: con dos masas que se unen por un elemento de caucho o de dos masas que se mueven relativamente interponiendo un medio viscoso como silicona. La Figura 4.65 muestra esquemáticamente este tipo de elementos.

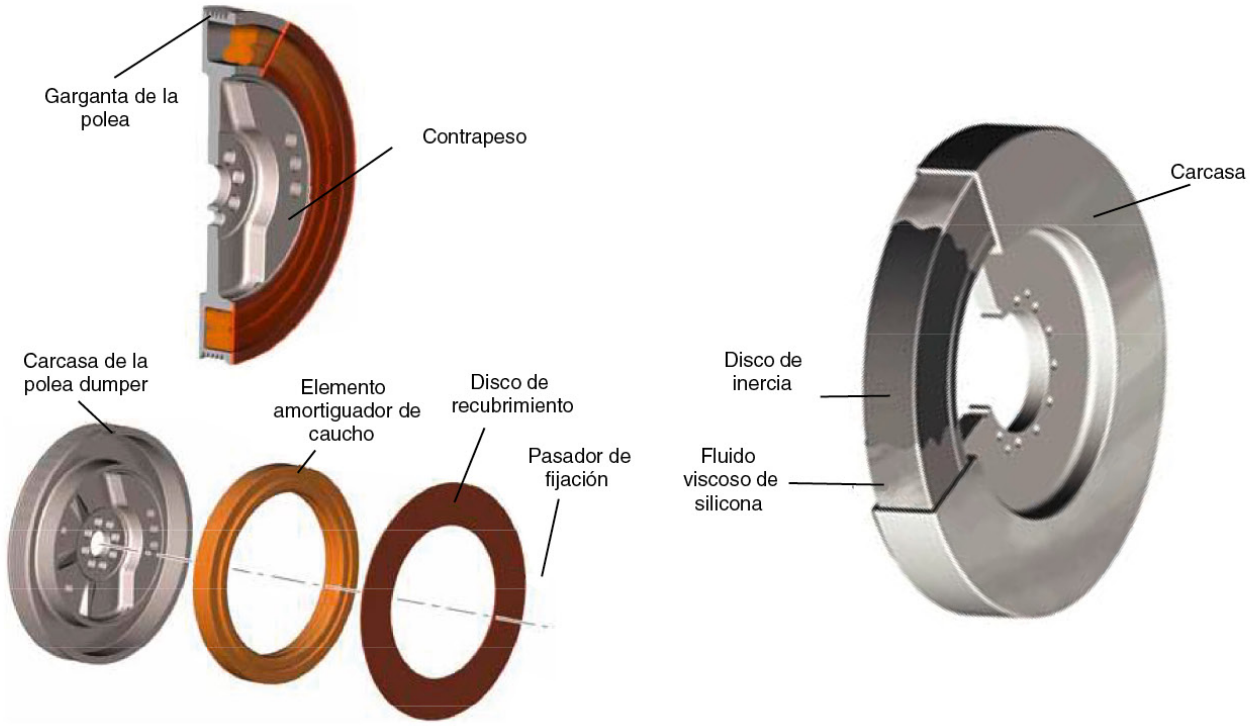


Figura 4.65. *Amortiguadores torsionales: de caucho (izquierda) y de fluido viscoso (derecha).*

© Ediciones Paraninfo

Las vibraciones torsionales también pueden transmitirse hacia el resto de la cadena cinemática del motor: embrague, caja de cambios, transmisiones… Esto puede minimizarse con el empleo de volantes de inercia bimásicos, como el mostrado en la Figura 4.66. El volante de inercia se divide en dos masas, una primaria, que se mueve con el cigüeñal, y otra secundaria, que se mueve con el resto de la cadena cinemática (embrague, caja de cambios…). Estas dos masas pueden girar relativamente una con respecto a la otra un determinado ángulo y se unen entre sí a través de un elemento elástico (muelles) y un elemento disipativo (placa de fricción). De esta forma se consigue reducir las vibraciones torsionales para no transmitirlas a la cadena cinemática, siendo este efecto el que simboliza la Figura 4.67.

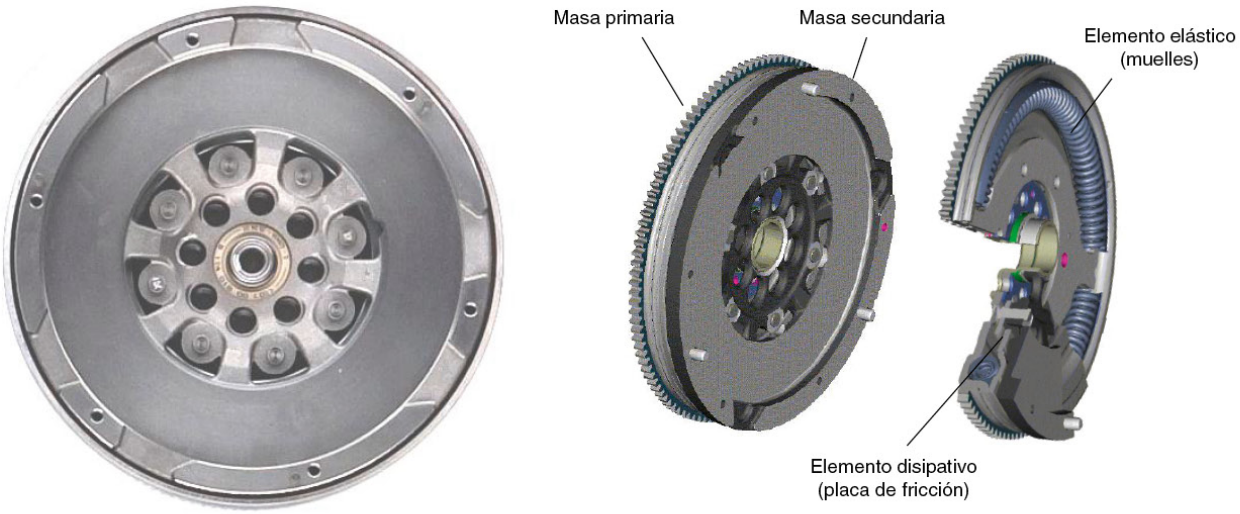


Figura 4.66. *Volante de inercia bimásico.*

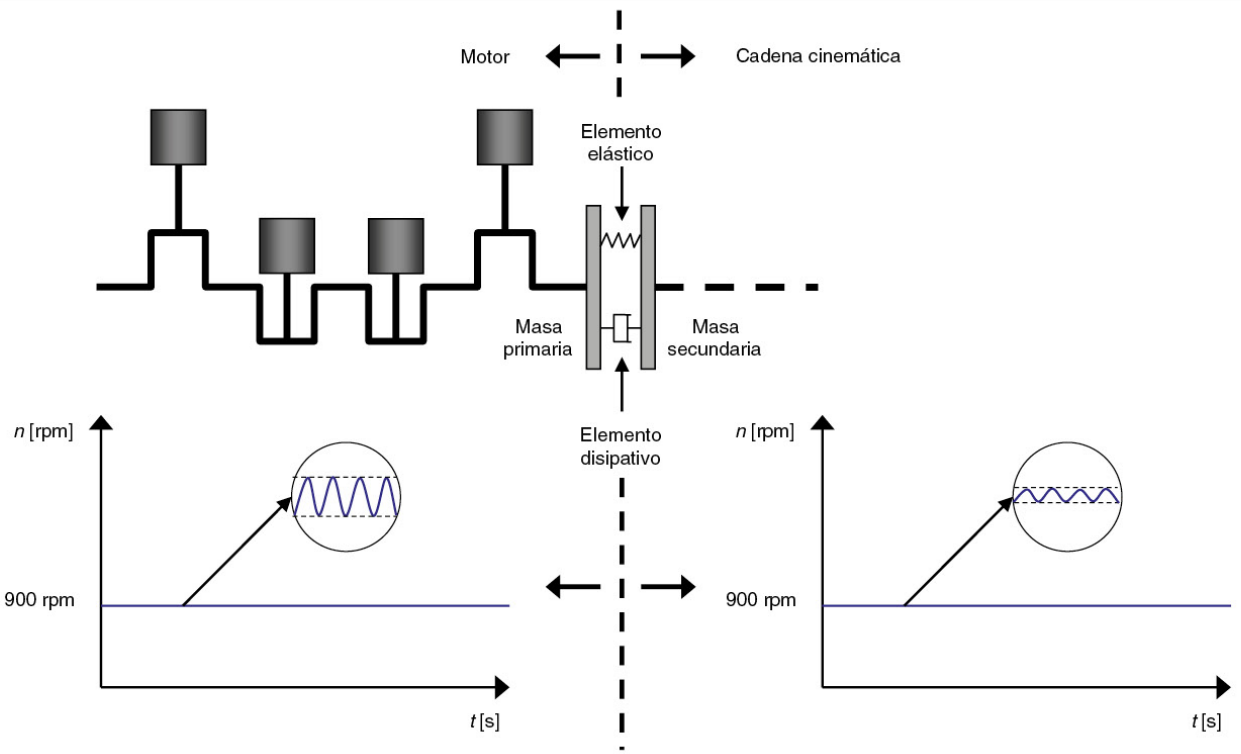


Figura 4.67. *Efecto de reducción de las vibraciones torsionales con el empleo de un volante de inercia bimásico.*

© Ediciones Paraninfo

El material más común para la fabricación del volante de inercia es la fundición de grafito laminal (GL) y los daños que puede sufrir son el desgaste superficial en la zona de contacto con el disco de embrague, el alabeado y la degradación de la corona dentada que engrana con el motor de arranque.

- **Otros mecanismos de compensación de la irregularidad cíclica:** como se ha explicado anteriormente, las oscilaciones en el régimen de giro del motor pueden dañar algunos elementos. A continuación se exponen algunas soluciones para compensar este fenómeno.
  - **Polea para la cancelación de vibraciones:** en muchos motores, la correa de la distribución está sometida a grandes esfuerzos, siendo algunas de las causas las siguientes:
    - » La necesidad de aplicar una mayor fuerza para accionar las válvulas por tener muelles más rígidos o para accionar los inyectores-bomba en algunos motores diésel.
    - » El accionamiento del mecanismo de distribución variable con aceite a presión.
    - » El arrastre de las bombas de combustible de alta presión.

    Debido a lo anterior, la correa dentada puede transmitir las oscilaciones torsionales a los árboles de levas en forma de vibraciones de segundo orden, es decir, que la frecuencia de las mismas es el doble de la frecuencia de giro del cigüeñal. Para minimizar este efecto, se puede emplear una polea del cigüeñal con geometría elíptica. A modo de ejemplo, cuando el cigüeñal está en la posición de PMS del cilindro 1, la polea se encuentra en la posición mostrada en la Figura 4.68. Cuando se realiza el tiempo de combustión-expansión del cilindro 1, la correa está sometida a una gran tensión. Como al evolucionar este tiempo la polea va a girar arrastrando la correa por sus contornos de menor diámetro, libera parte de la tensión. Así, se generan unas vibraciones torsionales que compensan las de segundo orden a la frecuencia de resonancia del sistema de distribución.

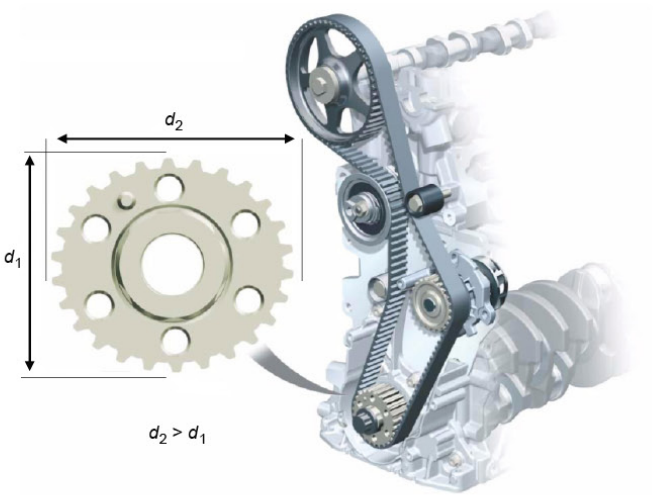


Figura 4.68. *Polea para la cancelación de vibraciones en posición de PMS del cilindro 1.*

  - **Piñón desacoplado:** hay determinados mecanismos de arrastre por cadena que trabajan con fuertes irregularidades cíclicas. Un ejemplo sería el mecanismo de accionamiento por cadena de los ejes de equilibrado, que están sometidos a las mismas irregularidades que la correa o cadena de distribución. En algunas aplicaciones, el nivel de las vibraciones puede ser tan elevado que provoque un deterioro acelerado del conjunto mecánico, especialmente de la cadena, por las fuerzas pulsatorias que sufre. Una forma de reducir este fenómeno es emplear un piñón de accionamiento desacoplado, cuya estructura está detallada en la Figura 4.69. Está formado por dos elementos que pueden tener entre ellos un cierto desfase angular, el cubo y el piñón. El cubo transmite la fuerza de accionamiento al piñón, pero no directamente, sino interponiendo un disco de fricción y

Figura 4.69. *Ubicación y estructura del piñón desacoplado en el mecanismo de accionamiento de los ejes de equilibrado.*

© Ediciones Paraninfo

dos muelles de arco. El principio de funcionamiento es el mismo que el volante de inercia bimásico, donde se minimizan las vibraciones torsionales en el elemento conducido, en este caso el piñón de accionamiento de la cadena que mueve los ejes de equilibrado.

4.2.2. Elementos del sistema de distribución

El sistema de distribución es el encargado de abrir y cerrar las válvulas de forma sincronizada con el tren alternativo. El despiece de la mayoría de los elementos es el que puede verse en la Figura 4.70.

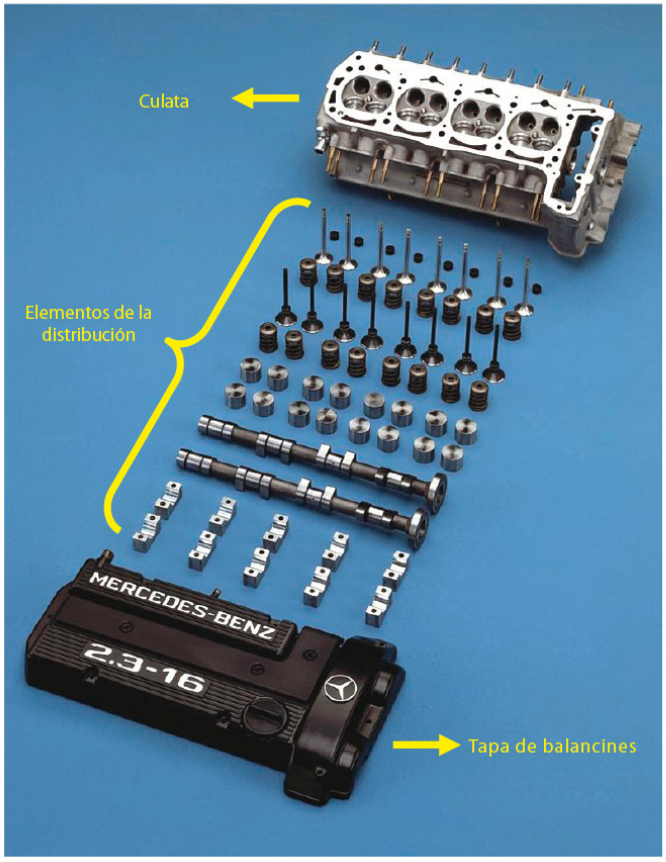


Figura 4.70. *Algunos elementos del sistema de distribución.*

Los sistemas de distribución pueden adoptar diferentes disposiciones y los elementos que lo componen pueden ser muy diversos, con lo cual su clasificación resulta complicada. En los motores de dos tiempos convencionales, al no disponer de sistema de distribución, el pistón es el encargado de controlar la apertura y el cierre de las lumbreras de admisión al cárter, transferencia y escape. En los motores de cuatro tiempos, los sistemas de distribución se clasifican de una manera muy genérica de la siguiente forma:

- **Sistema OHV (*Overhead Valves*):** las siglas de este tipo de sistemas indican que las válvulas se encuentran en la culata pero no informan acerca de la posición del árbol de levas. El árbol de levas se ubica en el bloque, ya sea en la parte inferior cercano al cárter, de forma lateral o en la parte superior cercano al plano de junta con la culata. La Figura 4.71 representa un sistema de distribución OHV, donde el árbol de levas se encuentra en un lateral del bloque y cada una de sus levas, en su giro, ataca a un empujador que mueve una varilla, en cuyo extremo opuesto se acciona un balancín. El otro extremo del balancín incide sobre la cola de la válvula abriéndola. Este sistema tiene la ventaja de ser sencillo y económico de fabricar, pero tiene el inconveniente de que por el hecho de poseer un gran número de elementos, aumentan las inercias en su movimiento, lo que disminuye la eficiencia a altas revoluciones. Por otro lado, necesita un mayor juego de válvulas en frío para compensar la dilatación lineal de los componentes.

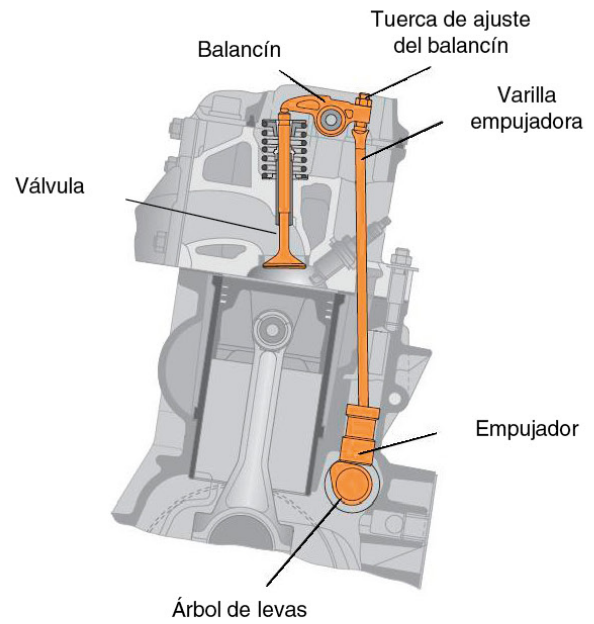


Figura 4.71. *Sistema OHV.*

- **Sistema OHC (*Overhead Camshaft*):** en este sistema se emplea un único árbol de levas, situado en la culata, para accionar las válvulas de admisión y de escape. De esta forma, la cadena cinemática de los elementos que intervienen en el accionamiento de las válvulas es más corta, reduciéndose las inercias, por lo que se mejora el rendimiento a altas revoluciones. Por otro lado se minimizan los efectos de la dilatación de los componentes, requiriendo un menor juego de válvulas en frío. La Figura 4.72 muestra un motor con sistema de distribución OHC.

© Ediciones Paraninfo

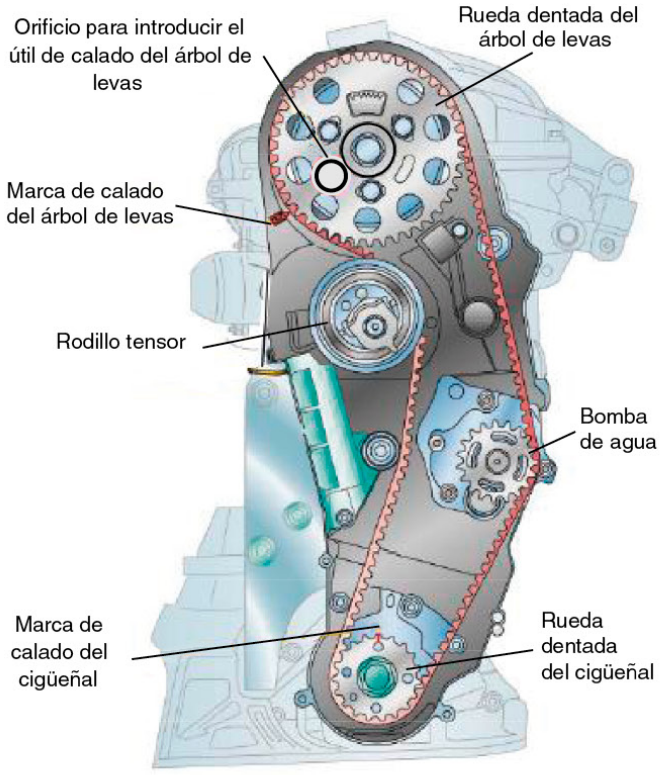


Figura 4.72. *Sistema OHC.*

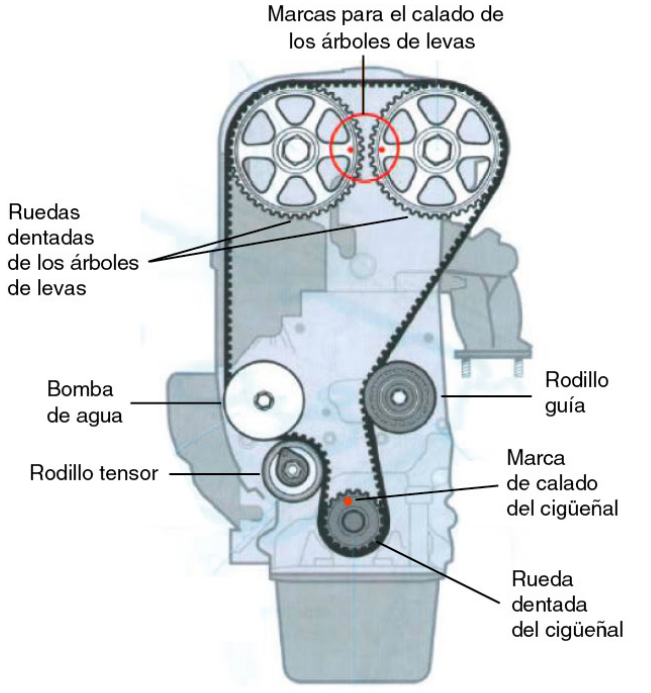
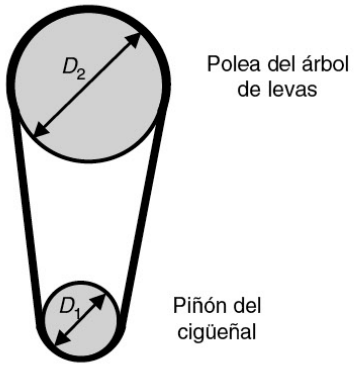


Figura 4.73. *Sistema DOHC.*

- **Sistema DOHC (*Double Overhead Camshaft*):** el acrónimo indica que el sistema de distribución consta de doble árbol de levas en la culata. Las ventajas que tiene son similares a la disposición OHC, pero el DOHC es más indicado para motores multiválvulas. En la Figura 4.73 puede verse un ejemplo de este sistema.
- **Tipos de accionamiento:** el accionamiento del sistema de distribución puede ser de diferentes tipos en función de si el motor lleva el árbol de levas en la culata o no, de los elementos auxiliares que arrastre o de las características que el fabricante quiere que tenga el motor en cuanto a fiabilidad, intervalos de mantenimiento… Lo que es común a todos los tipos de accionamiento es que la relación de transmisión entre el cigüeñal y el árbol o árboles de levas ha de ser de 1/2, es decir, que por cada vuelta del cigüeñal, el árbol de levas gira media vuelta. Esto se traduce en que el piñón del cigüeñal tiene la mitad de dientes, siendo su diámetro también la mitad, que la polea del árbol de levas. La Figura 4.74 muestra la relación de transmisión del sistema de accionamiento de la distribución.



D_1 ≡ Diámetro del piñón del cigüeñal.
D_2 ≡ Diámetro de la polea del árbol de levas.
z_1 ≡ Número de dientes del piñón del cigüeñal.
z_2 ≡ Número de dientes de la polea del árbol de levas.
n_1 ≡ Número de revoluciones del piñón del cigüeñal.
n_2 ≡ Número de revoluciones de la polea del árbol de levas.
i ≡ Relación de transmisión

$$i = \frac{D_1}{D_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{2}$$

Figura 4.74. *Relación de transmisión del accionamiento del sistema de distribución.*

Los tipos de accionamiento pueden ser los siguientes:

– **Por engranajes:** este tipo de accionamiento está actualmente en desuso aunque a veces se emplea en algunos motores industriales o de maquinaria diésel. Este montaje es adecuado solo cuando la distancia entre el eje de giro del cigüeñal y el del árbol de levas es corta, es decir, cuando el árbol de levas va en el bloque. Tiene la ventaja de ser muy robusto y fiable, pero cuando la distancia entre cigüeñal y árbol de levas es elevada, la secuencia de ruedas

© Ediciones Paraninfo

dentadas hace que aumente la inercia del movimiento a la vez que el peso. Además suele ser un sistema ruidoso aunque el nivel de ruido depende de si el dentado es recto, oblicuo o helicoidal. El tren de engranajes hay que lubricarlo con aceite de motor por lo que va encerrado en una carcasa o cárter de distribución. La Figura 4.75 representa un ejemplo de este tipo de accionamiento.

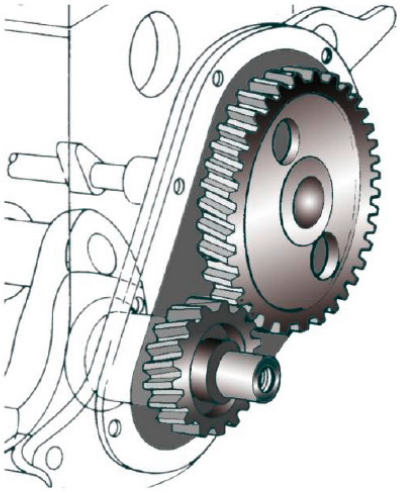


Figura 4.75. *Accionamiento de la distribución por engranajes.*

– **Por cadena:** este tipo de transmisión se puede emplear en cualquiera de los sistemas de distribución (OHV, OHC y DOHC), con lo cual tiene la ventaja de ser fácilmente adaptable. Cuando la distancia entre ejes de cigüeñal y árbol o árboles de levas es elevada, es necesario instalar convenientemente patines guía para que la cadena no tenga excesivo vuelo. Además, para evitar oscilaciones en la misma, hay que montar tensores en la zona donde la cadena tiende a aflojarse, es decir, en el tramo posterior a la rueda dentada a la que se le ha transmitido la potencia, como muestra la Figura 4.76, donde se supone que el cigüeñal gira en sentido de las agujas del reloj. Este tipo de tensores pueden ser:

  » *Mecánicos:* la fuerza de un muelle, normalmente de torsión, empuja el patín sobre la cadena.

  » *Hidráulicos:* la presión de aceite del motor empuja un émbolo y a su vez el patín sobre la cadena, aunque conservan un muelle de poca rigidez para aproximar el patín.

  Un inconveniente de la cadena es que con el desgaste tiende a alargarse, desreglando el diagrama de distribución, por lo que la función del tensor es importante en este aspecto, al compensar dicha holgura de la cadena.

  A veces, para que la cadena no tenga tanto recorrido, se instala un eje intermediario, como muestra la Figura 4.76, que en ocasiones sirve para mover la bomba de inyección en motores diésel.

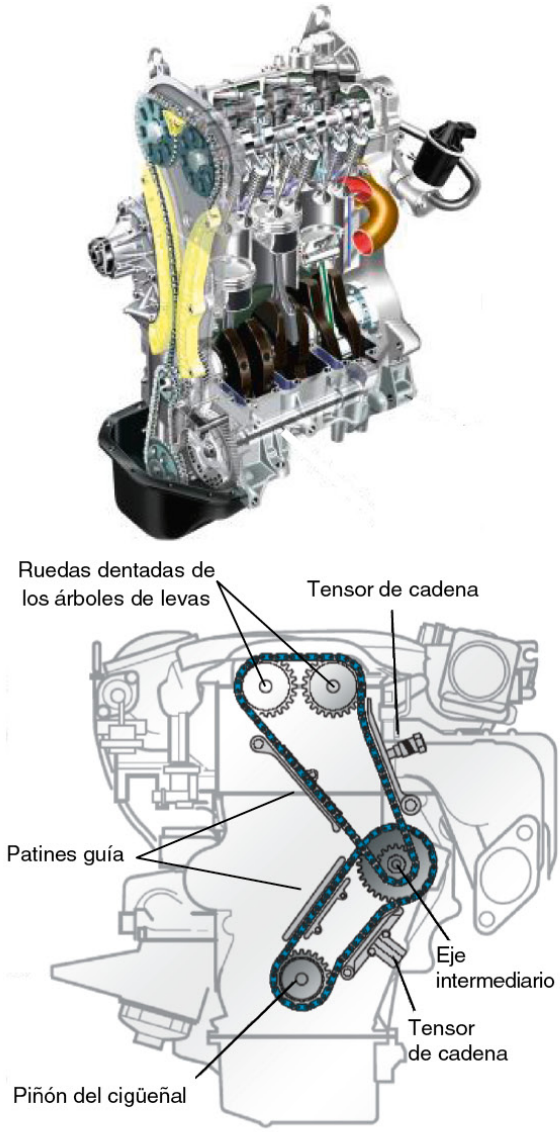


Figura 4.76. *Accionamiento por cadena.*

Dependiendo del tipo de motor, la cadena de distribución puede mover diferentes elementos como bomba de agua, bomba de aceite, bomba de inyección, ejes de equilibrado… llegando a encontrarse configuraciones complejas como la de la Figura 4.77.

Las cadenas de distribución tienen la desventaja de tener que ser lubricadas por el aceite de motor y que son ruidosas durante su funcionamiento, factor que se agrava a medida que avanza el desgaste.

Normalmente, la cadena de distribución no precisa mantenimiento y dura toda la vida del motor, pero algunos

© Ediciones Paraninfo

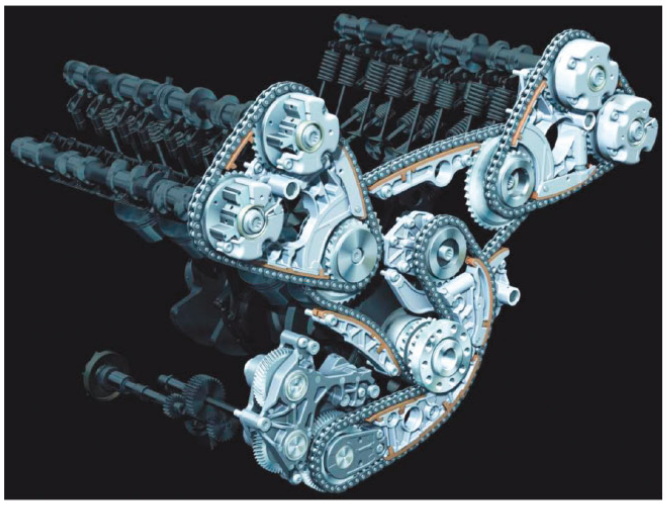


Figura 4.77. *Sistema de distribución por cadena.*

fabricantes prescriben su sustitución a un determinado número de kilómetros. Para las operaciones de sustitución de la cadena o cuando hay que retirarla del motor en algún proceso de reparación, es común que el fabricante distinga algunos eslabones de la cadena con otro color para hacerlos coincidir con las marcas de distribución, como muestra la Figura 4.78.

– **Por correa:** el sistema de transmisión por correa está ampliamente extendido y se puede encontrar en motores de configuración OHC y DOHC. Tiene la ventaja de no necesitar lubricación y poseer un funcionamiento más silencioso que los sistemas anteriores. Como inconveniente necesita ser sustituida periódicamente cuando el vehículo ha alcanzado un determinado número de kilómetros, ya que tiende a degradarse.

La correa debe instalarse con una tensión adecuada, por lo que se suele utilizar un tensiómetro, que puede ser de diferentes tipos, dinamométrico mecánico, dinamométrico digital, electrónico por frecuencia de vibración… Este útil es necesario en el caso de que el sistema incorpore un tensor manual. Otros sistemas tienen un rodillo tensor automático. Además, con el fin de asegurar la trayectoria de la correa y de que esta no vibre, pueden instalarse rodillos guía.

La Figura 4.79 muestra un ejemplo de sistema de distribución por correa dentada, donde esta a su vez mueve otros elementos auxiliares.

Las correas se fabrican con diferentes materiales. Se emplean materiales sintéticos, como poliamida, para la parte lisa de la correa, que reduce el desgaste en los cantos. Posteriormente, para darle resistencia a la tracción se emplean hilos de acero trenzado o fibra de vidrio. Todo el conjunto se recubre con caucho o neopreno y en la zona de los dientes, también fabricados en una malla de poliamida, se aplica una capa de teflón para reducir el desgaste. La forma de los dientes puede ser redonda, trapezoidal o de lóbulos, como muestra la Figura 4.80.

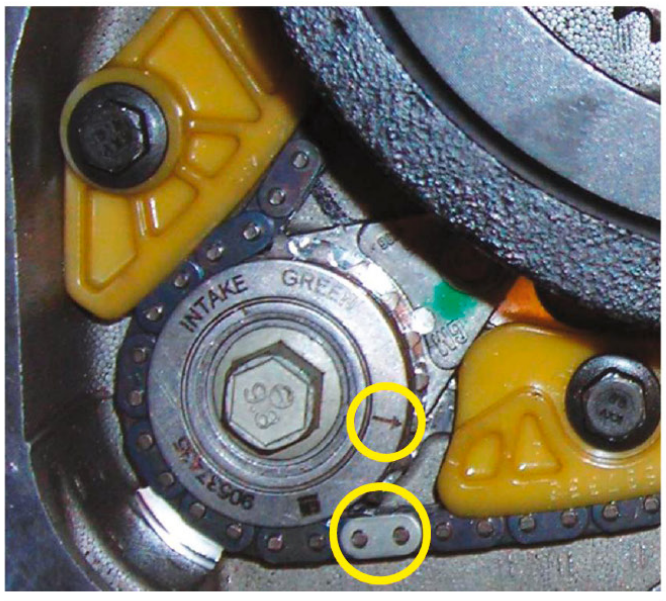


Figura 4.78. *Diferenciación de eslabones de la cadena de distribución para facilitar el calado con las marcas.*

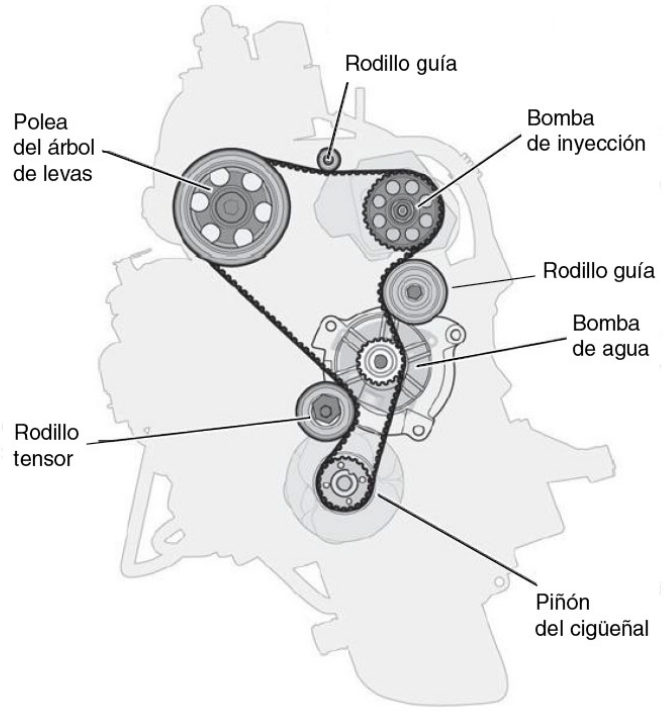


Figura 4.79. *Sistema de distribución por correa dentada.*

© Ediciones Paraninfo

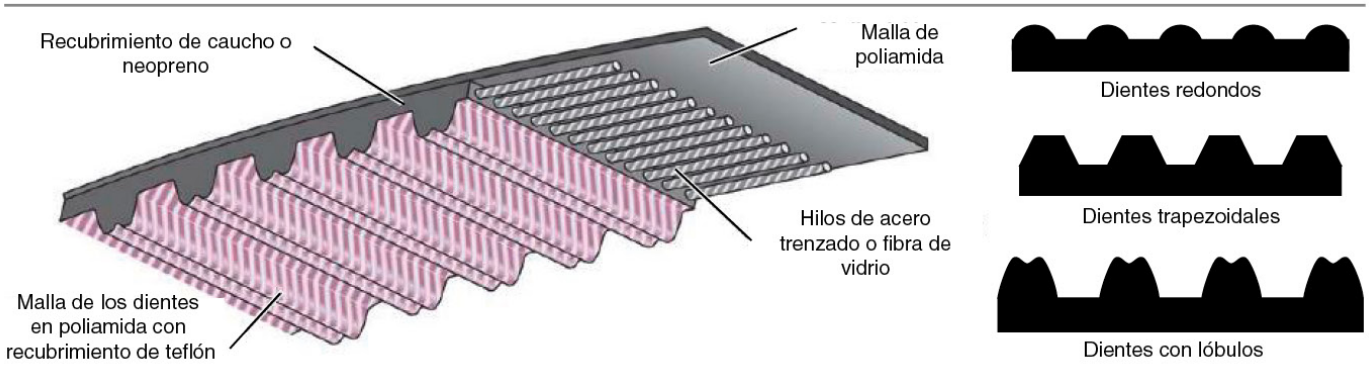


Figura 4.80. *Estructura de una correa dentada.*

La correa debe mantenerse protegida del polvo y de agentes químicos como aceite, gasolina, gasoil… Por ello va protegida dentro de la carcasa de la distribución que suele ser de plástico.

Un deterioro prematuro de la correa, como la aparición de fisuras o falta de dientes, puede indicar alguna otra avería en el sistema de distribución como desgaste de las poleas o una falta de alineación entre las mismas.

– **Mixtos:** algunos sistemas de distribución tienen un sistema de accionamiento mixto. La Figura 4.81 muestra un par de ejemplos.

- **Árbol de levas:** el árbol de levas es la pieza del motor que es movida por el cigüeñal de forma sincronizada con una relación de transmisión 1/2 y que contiene las levas que accionan las válvulas a través de diversos elementos intermedios posibles. A través de las levas, se convierte el movimiento circular del árbol de levas en un movimiento alternativo de las válvulas. La Figura 4.82 muestra dos ejemplos de árboles de levas.

El árbol de levas puede ubicarse en el bloque o en la culata y está apoyado sobre cojinetes de fricción con su correspondiente tapa apretada al par correspondiente o bien sobre unos orificios mecanizados directamente sobre la culata o el bloque, como aparece en la Figura 4.83. En cualquier caso, los apoyos van lubricados con aceite de motor a presión para minimizar el rozamiento.

Las levas tienen varios puntos y cotas característicos, mostrados en la Figura 4.84, que definen el diagrama de distribución.

En función de la forma de los flancos de la leva, representados en la Figura 4.85, esta marcará de una forma determinada la apertura de la válvula. Por este motivo, se

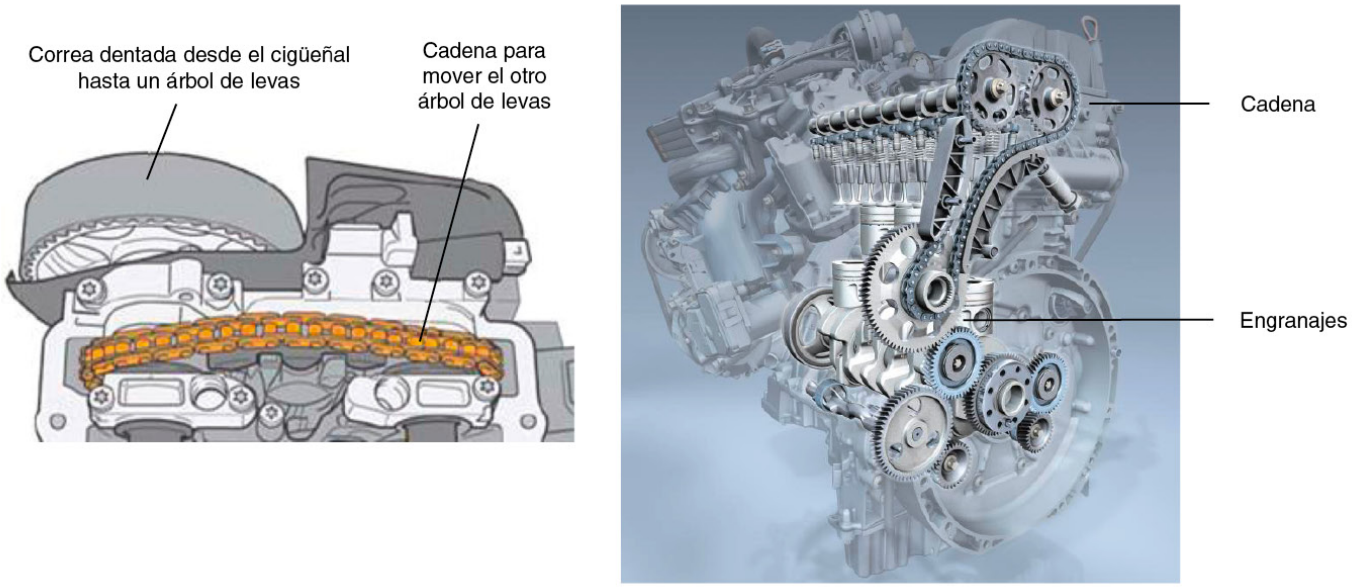
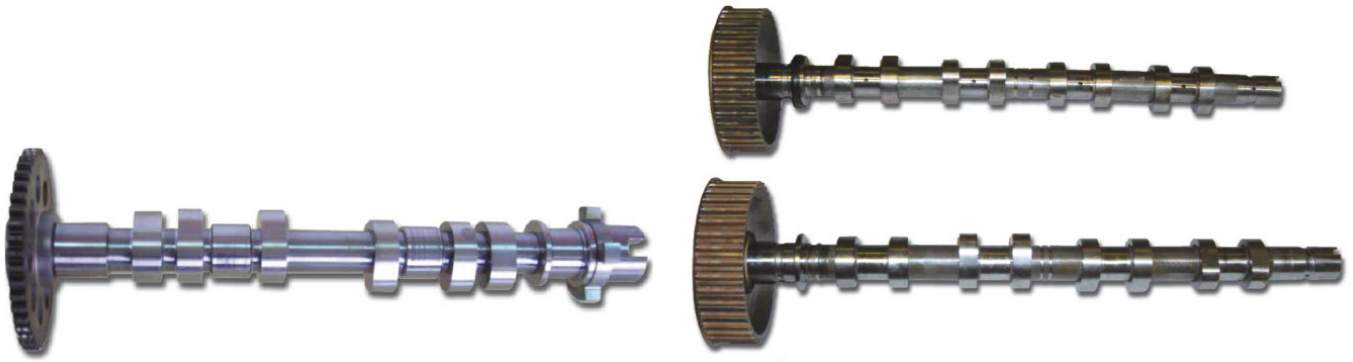


Figura 4.81. *Sistemas de accionamiento de la distribución mixtos: correa-cadena (izquierda) y engranajes-cadena (derecha).*

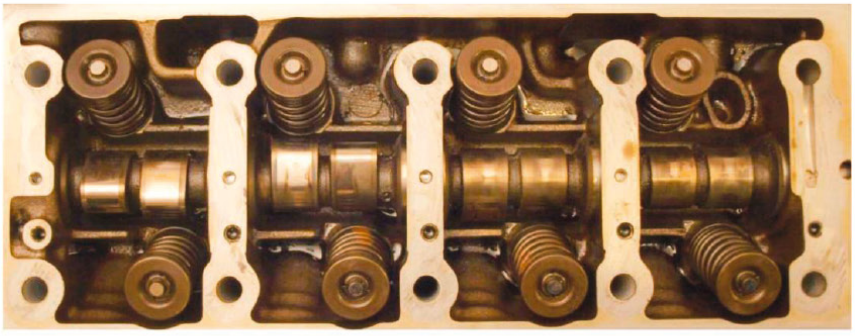
© Ediciones Paraninfo



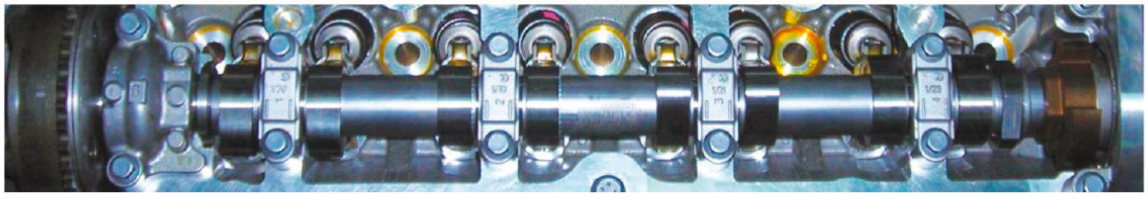
Árbol de levas de un motor de dos cilindros en línea

Árboles de levas de admisión y escape de un motor de cuatro cilindros en línea

Figura 4.82. *Ejemplos de árboles de levas.*



Árbol de levas apoyado sobre orificios mecanizados en la culata



Árbol de levas apoyado sobre cojinetes de fricción con tapa

Figura 4.83. *Diferentes montajes del árbol de levas.*

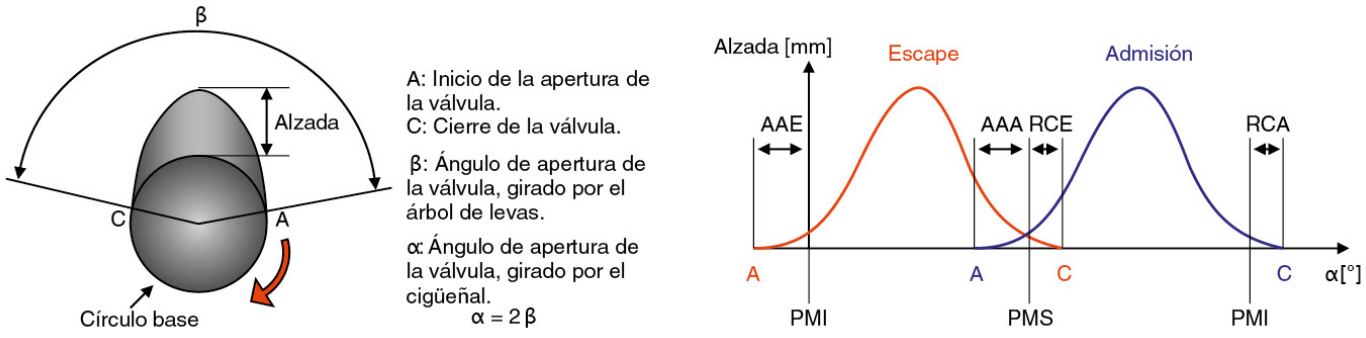


Figura 4.84. *Características de la leva y diagrama de distribución.*

© Ediciones Paraninfo

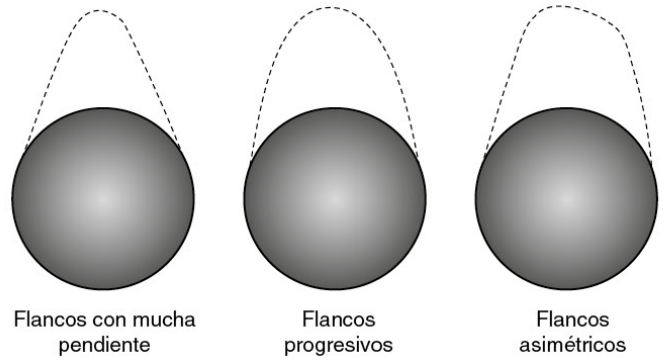


Figura 4.85. *Diferentes formas de los flancos de la leva.*

pueden encontrar levas cuyos flancos presenten una elevada pendiente para que la válvula abra y cierre rápidamente. Por otro lado, existen levas cuyos flancos tienen un perfil más progresivo y redondeado que hacen que la válvula tenga un perfil de apertura más lento. La geometría de la leva se diseña para obtener una alzada óptima y generar unas cotas de distribución adecuadas, especialmente ángulo de cruce, para cada tipo de motor. Los flancos de la leva pueden ser asimétricos porque puede interesar que la válvula abra de una forma y cierre de otra, por ejemplo una apertura rápida y un cierre lento. En muchas ocasiones, además de las levas que accionan las válvulas, existen otras que pueden mover otros elementos como la bomba de gasolina en caso de ser mecánica, un inyector-bomba de gasoil…

El árbol de levas se fabrica en fundición de hierro o acero forjado. Posteriormente se mecaniza y se le aplican tratamientos térmicos para el endurecimiento superficial de las zonas de fricción de las levas, con el fin de aumentar su resistencia al desgaste.

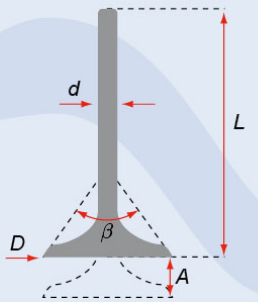
Los daños en el árbol de levas son los debidos al desgaste de las levas, pudiendo llegar a alterar el diagrama de distribución.

- **Válvulas:** las válvulas son los elementos encargados de permitir la entrada de gases frescos y la salida de los quemados tras la combustión. Se instalan en la culata junto a otros elementos necesarios para su posicionamiento y guiado, como muestra la Figura 4.86.

Sabías que...

Las cotas más importantes de las válvulas son:

- Diámetro de la cabeza (*D*).
- Diámetro del vástago (*d*).
- Longitud de la válvula (*L*).
- Ángulo de asiento (β).
- Alzada (*A*).



La válvula tiene dos partes diferenciadas, la cabeza o plato, que realiza el asiento con la culata, y el vástago o cola, que hace de guía. A su vez necesita de los siguientes elementos:

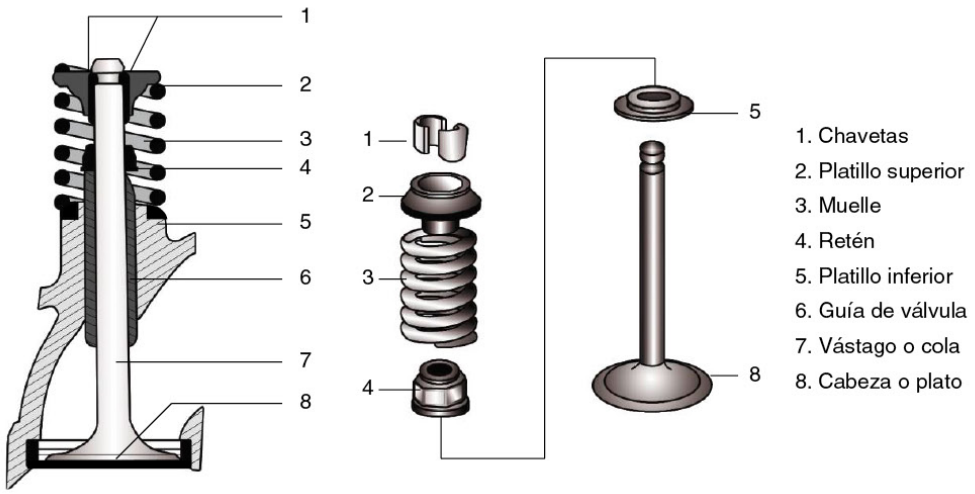


Figura 4.86. *Válvula y elementos para su posicionamiento y guiado.*

© Ediciones Paraninfo

– **Asiento:** asegura el cierre hermético de la válvula con la cámara de combustión. Suelen ser unos elementos postizos en forma de anillo, salvo en algunas culatas de fundición donde van mecanizados directamente, con un ángulo interior β de 90 o 120°, según la Figura 4.87, que coincide con la forma troncocónica del extremo del plato de la válvula que ajusta con el asiento. Además se generan otros dos ángulos correctores, uno de entrada α, de unos 150°, y otro de salida γ, de unos 30°. La anchura del asiento es la cota A de la Figura 4.87 y se consigue mediante rectificado. El material de fabricación de los asientos suele ser estelita, que es una aleación de cromo-cobalto-tungsteno, de gran resistencia o en aceros especiales al cromo-manganeso. Su montaje se realiza calentando el alojamiento de la culata y enfriando el asiento, con nitrógeno líquido por ejemplo, de forma que al insertarlo en el alojamiento y tras igualarse las temperaturas se consigue un ajuste con apriete.

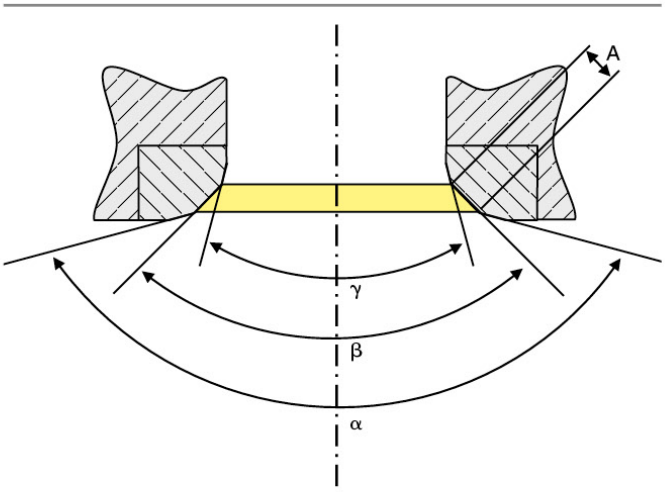


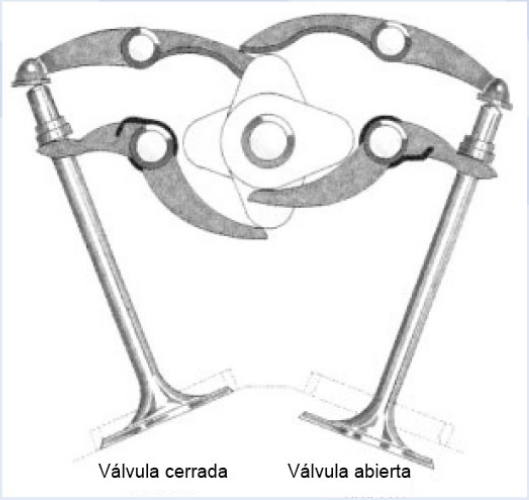
Figura 4.87. *Asiento de válvula.*

– **Guía:** es la encargada de centrar la válvula en su movimiento alternativo de apertura y cierre. Normalmente son elementos postizos insertados con apriete en la culata, aunque en algunas culatas de fundición se mecanizan directamente. En el montaje hay que rectificar cada asiento según su guía de válvula con el fin de asegurar el centrado de la válvula y la hermeticidad. El juego entre el vástago de la válvula y la guía debe ser el necesario para que no haya riesgo de gripaje por temperatura y a su vez impedir un exceso de paso de aceite de la culata a la cámara de combustión. Normalmente el juego entre vástago y guía es mayor en la válvula de escape por alcanzar esta mayor temperatura y compensar la dilatación en caliente. Se suele fabricar de fundición o en bronce, debiendo tener una elevada resistencia al desgaste, bajo coeficiente de fricción y elevada conductividad térmica para poder evacuar calor fácilmente.

– **Muelle:** los muelles de válvula aseguran el cierre de la misma contra su asiento, por lo que se montan pretensados haciendo presión por un lado en el platillo inferior que está en contacto con la culata y por otro lado en el platillo superior que está sujeto por unas chavetas a la válvula. Las levas deben vencer la fuerza de los muelles para abrir las válvulas. Un problema que presentan los muelles es que si tienen densidad de espiras constante, en un movimiento rápido, las espiras más cercanas al accionamiento de la válvula sufren una brusca compresión y por tanto se acercan más entre sí que las más alejadas. Esto ocurre de forma inversa cuando el muelle cierra la válvula. Como consecuencia de esto, las espiras centrales están sometidas a un movimiento oscilatorio que puede ser peligroso cuando la frecuencia de esa oscilación coincida con la frecuencia propia del muelle, entrando en resonancia y pudiendo romper el muelle. Para evitar esto se pueden montar muelles con densidad de espira variable o dos muelles concéntricos, cada uno de ellos con el paso invertido, a fin de elevar la frecuencia de resonancia del muelle a un valor que no se pueda alcanzar físicamente por el régimen de giro del motor. La Figura 4.88 muestra diferentes tipos de muelle de válvula.

Sabías que...

Para motores que alcanzan un régimen de giro elevado, como los de algunas motocicletas, los muelles de válvulas pueden no funcionar correctamente y perder efectividad. Para evitar esto se instalan distribuciones desmodrómicas, que prescinden de muelles a cambio de montar dos levas y dos balancines por válvula, por ejemplo, que guían a la misma, una leva en la carrera de apertura y otra en la de cierre. De esta forma se asegura la efectividad de la apertura y cierre de las válvulas a cualquier régimen.



© Ediciones Paraninfo

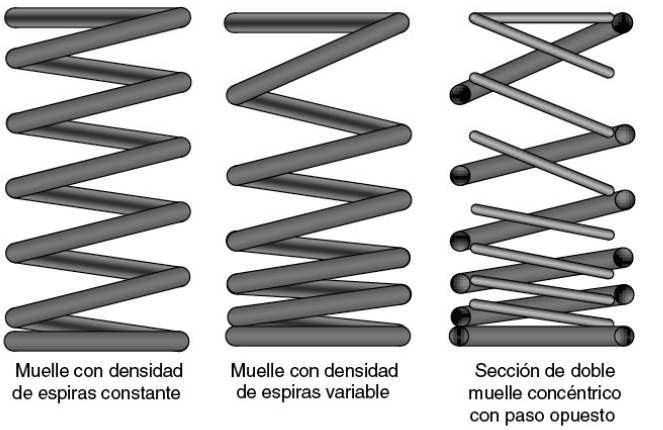


Figura 4.88. *Diferentes tipos de muelle de válvula.*

– **Platillo superior e inferior:** los platillos superior e inferior sirven como base al muelle de la válvula. Al platillo superior se le llama también copela o chavetero ya que empuja a las chavetas contra las acanaladuras de la cola de válvula y el conjunto retiene al muelle de la válvula.

– **Chavetas:** también llamados semiconos, se autoajustan a las ranuras del vástago de la válvula gracias al platillo superior, que es empujado por el muelle de la válvula, como muestra la Figura 4.89.

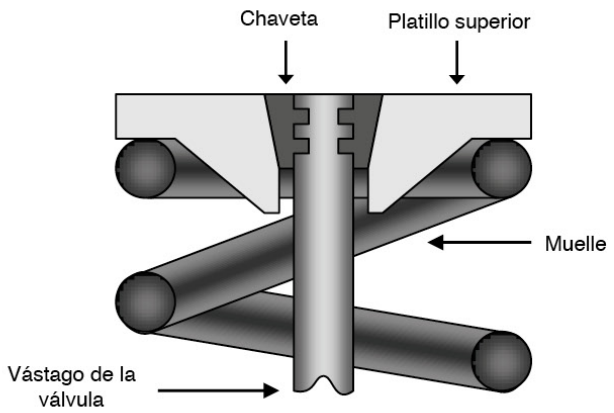


Figura 4.89. *Montaje de las chavetas.*

– **Retén:** para evitar el paso de aceite al cilindro por la succión producida en la carrera descendente del pistón cuando abre la válvula de admisión se ponen retenes de aceite encima de la guía de válvula con el fin de asegurar la estanqueidad.

Las válvulas, además, han de reunir las siguientes características:

– **Resistencia mecánica:** sobre todo en la zona del asiento, debido al golpeteo sufrido en cada cierre, y en el vástago, por la fricción que sufre en su movimiento alternativo con la guía.

– **Resistencia química:** la cabeza de la válvula está expuesta al ataque químico de los gases resultantes de la combustión, con lo cual ha de ser resistente a la corrosión producida por estos.

– **Resistencia térmica:** la válvula de admisión puede alcanzar más de 400 °C y la de escape más de 800 °C, por lo que los materiales empleados para la fabricación deben mantener las propiedades mecánicas de las válvulas por encima de estas temperaturas.

– **Buena refrigeración:** un elemento crítico a la hora de evacuar calor es el plato de la válvula. Las válvulas de admisión son refrigeradas en parte por los gases frescos de admisión, con lo cual, con un buen diseño y una correcta elección de los materiales la refrigeración no es tan crítica. La válvula de escape es la que mayor temperatura alcanza y hay que diseñar muy bien la forma de transferir el calor a la culata y de ahí al circuito de refrigeración. La válvula evacua el calor a través de su asiento y por el vástago a la guía. Se estima que un 75 % del calor es evacuado a través del asiento y un 25 % a través del vástago. Por este motivo, en las válvulas de escape se aumenta la superficie de contacto de la válvula con el asiento y la longitud de la guía de válvula.

– **Buena capacidad de flujo:** para conseguir un coeficiente de descarga de la válvula elevado, es decir, una buena capacidad de flujo, es necesario optimizar el diámetro de los platos de válvula de admisión y escape en relación a la superficie disponible. Influyen también el alzado máximo de la válvula y los ángulos de asiento de la misma. Hay que tener en cuenta que la sección de paso de la válvula de escape afecta al lazo de renovación de la carga, pero tiene poca importancia en el rendimiento volumétrico (capacidad de llenado del motor), por eso la sección de la válvula de escape suele ser un 70 % de la válvula de admisión.

– **Buena estanqueidad:** para mejorar la estanqueidad y el cierre de la válvula, normalmente el ángulo de asiento de la válvula es mayor que la del asiento insertado en la culata, como muestra la Figura 4.90. De esta forma se asegura el cierre y se reducen los depósitos carbonosos, evitando

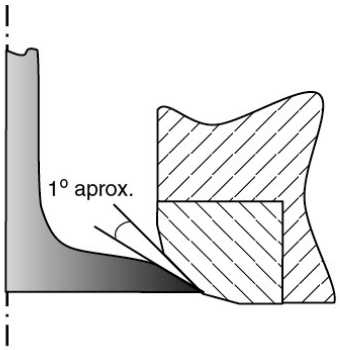


Figura 4.90. *Diferencia entre ángulos de asiento para asegurar la estanqueidad.*

© Ediciones Paraninfo

puntos calientes. Tiene la desventaja de que al disminuir la superficie de contacto se evacua peor el calor.

Las válvulas se fabrican normalmente mediante un proceso de recalcado en caliente, aplicando después diferentes tratamientos térmicos en las zonas de mayor desgaste. En cuanto a los materiales, dado que cada válvula está sometida a diferentes solicitaciones, se distinguen para:

– **Válvula de admisión:** son válvulas monometálicas macizas construidas en aceros al cromo-molibdeno o al cromo-silicio. Tras la fabricación se le aplican tratamientos térmicos en determinados puntos para aumentar la dureza, como la parte superior del vástago y el chavetero.

– **Válvula de escape:** en función de los requerimientos, pueden distinguirse tres tipos:

  » *Válvula monometálica maciza:* suele ser de acero austenítico al cromo-níquel u otras aleaciones. Posteriormente se le aplica al vástago un tratamiento de nitruración para aumentar la resistencia al desgaste. El plato se trata con estelita (cromo-cobalto-tungsteno) para resistir la corrosión.

  » *Válvula bimetálica maciza:* en este caso la válvula se fabrica con dos materiales distintos y después se une con una soldadura especial. El vástago se fabrica en acero especial para resistir el desgaste y el plato en acero austenítico.

  » *Válvula monometálica hueca:* en motores de altas prestaciones, para favorecer la refrigeración de la válvula de escape, esta se fabrica hueca y se rellena la mitad de la cavidad interior con sodio, según la Figura 4.91, que funde a 98 °C y entra en ebullición a 735 °C. El sodio presenta una muy buena conductividad térmica y transfiere el calor del plato al vástago en su movimiento alternativo por la apertura y cierre de la válvula. De esta forma se refrigera mejor el plato y puede llegar a reducir la temperatura de la válvula más de 140 °C. Hay que tener en cuenta que el sodio es un material peligroso, ya que en contacto con agua provoca una reacción muy exotérmica, por lo que hay que tratarlo como un residuo especial cuando se sustituyan este tipo de válvulas, debiendo consultar el manual del fabricante para ver el proceso adecuado de desecho.

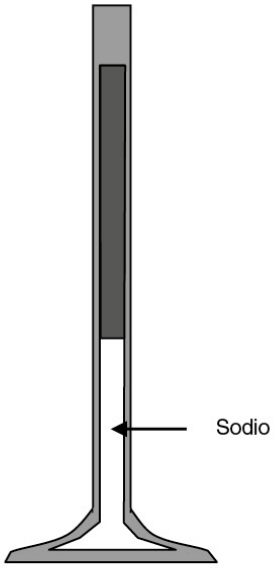


Figura 4.91. *Válvula rellena de sodio.*

Los daños que pueden sufrir las válvulas son muy diversos. Lo usual es el desgaste superficial de los asientos y del vástago por fricción con la guía. La acumulación de depósitos carbonosos encima del plato de la válvula tiene lugar con el paso de las horas de funcionamiento del motor y sobre todo en motores de carburación. En caso de rotura del accionamiento de la distribución, las válvulas pueden chocar contra la cabeza del pistón, doblándose.

- **Accionamiento de las válvulas:** los sistemas encargados del accionamiento de las válvulas pueden ser muy variados por las posibles configuraciones de sus elementos. A continuación se van a explicar los más habituales:

  – **Por balancín:** el sistema de accionamiento por balancín es empleado en sistemas de distribución OHV, pudiéndose utilizar en sistemas OHC, como muestra la Figura 4.92.

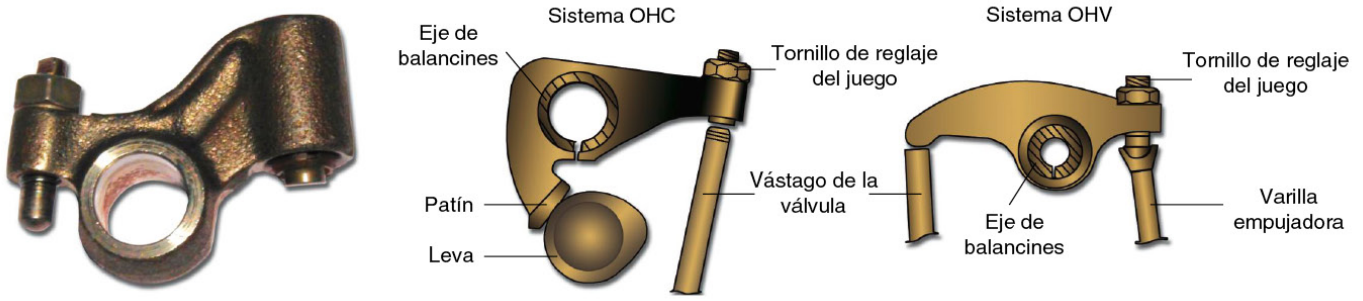


Figura 4.92. *Accionamiento de las válvulas por balancín.*

© Ediciones Paraninfo

El sistema de regulación del juego de válvulas en frío suele ser manual, aunque en algunos casos puede existir un taqué hidráulico en los sistemas OHV entre la leva y la varilla, como muestra la Figura 4.93. Cuando el taqué está en contacto con la parte circular de la leva, se comunica el orificio de presión de aceite del bloque con la entrada de aceite al taqué. De esta forma entra el aceite a la cámara de reserva de aceite y levanta el pistón aproximándolo a la varilla empujadora. La acción del aceite y la del muelle inferior hacen que se anule el juego. Además, debido a la presión de aceite de lubricación, se vence la fuerza del muelle que sostiene la bola de la válvula antirretorno llenándose de aceite la cámara de alta presión. Cuando la leva ataca al taqué el aceite no puede escapar de la cámara de alta presión debido a la válvula de bola ni tampoco por el orificio de entrada de aceite ya que ha dejado de estar enfrentado con el orificio del bloque, moviéndose todos los componentes en conjunto. Debido al juego existente entre el empujador y el pistón interior se permite una pequeña fuga de aceite de la cámara de alta presión que hace que el taqué se vaya ajustando en cada ciclo repitiéndose el proceso.

La justificación de tener un juego de válvulas en frío es compensar su dilatación lineal en caliente para que la válvula no se quede pisada. La fórmula para calcular la longitud de la válvula en caliente es:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$$

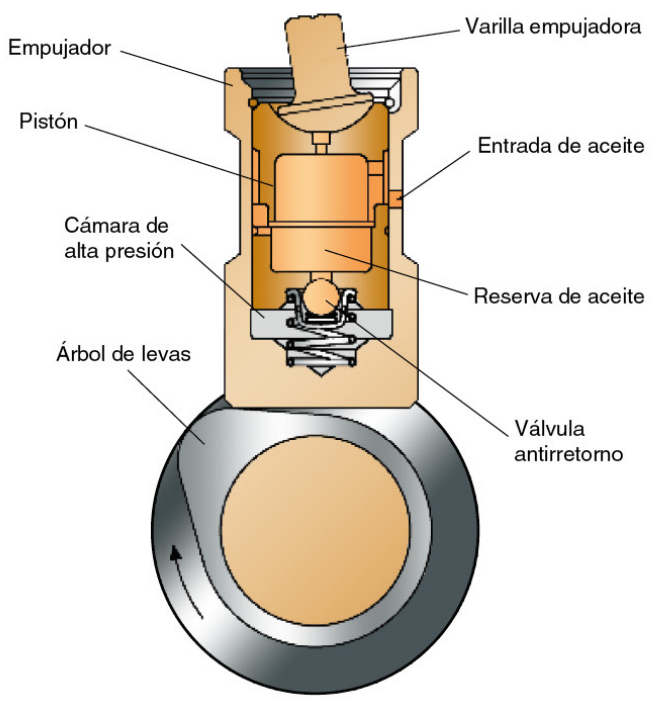


Figura 4.93. *Taqué hidráulico en un sistema OHV.*

donde:

Δl es el incremento de longitud de la válvula por efecto de la dilatación, expresado en mm. Por tanto, es la diferencia entre la longitud final y la inicial $\Delta l = l_f - l_0$.

α es el coeficiente de dilatación lineal de la válvula. Suponiendo que es de acero $\alpha_{acero} = 0{,}0115 \frac{mm}{m\,°C}$.

l_0 es la longitud inicial de la válvula, a la temperatura T_0, expresada en m.

ΔT es la diferencia de temperaturas final e inicial, expresada en °C. Con lo cual $\Delta T = T_f - T_0$.

- **Por taqués mecánicos de accionamiento directo:** existen sistemas de accionamiento directo de la válvula donde entre ella y la leva se interpone un taqué mecánico donde el mecanismo de reglaje del juego de la válvula consiste en poner un disco calibrado de ajuste, como muestra la Figura 4.94. El fabricante dispone de diferentes espesores de disco con el fin de efectuar el reglaje del juego de origen y en postventa. Este sistema es típico de las configuraciones OHC y para sustituir los discos sin necesidad de extraer el árbol de levas existe un útil que permite girar el árbol de levas, empujar el taqué y extraer el disco. La altura o espesor del disco va en relación al desgaste del asiento de la válvula. Cuanto más se desgaste el asiento, más subirá la válvula en su posición de cierre y más se acercará al contacto con el árbol de levas. Este contacto es el que determina el espesor del disco que hay que utilizar. Normalmente, a mayor desgaste del asiento de la válvula, menor espesor del disco.
- **Por taqués hidráulicos de accionamiento directo:** otra forma de accionar directamente las válvulas pero con compensación automática del juego es mediante taqués hidráulicos, como muestra la Figura 4.95,

Actividad resuelta 4.1

Calcular cuánto dilata longitudinalmente una válvula de escape, cuya longitud inicial es de 112,75 mm a una temperatura de 20 °C, cuando se calienta a 350 °C.
Dato: α_{acero} = 0,0115 mm/(m °C).

Solución:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$$

$$\Delta l = 0{,}0115 \left[\frac{mm}{m\,°C}\right] \cdot 112{,}75 \cdot 10^{-3}\ [m] \cdot (350 - 20)\ [°C]$$

$$\Delta l = 0{,}428\ mm$$

Con lo cual, el juego de la válvula en frío deberá ser de 0,428 mm.

© Ediciones Paraninfo

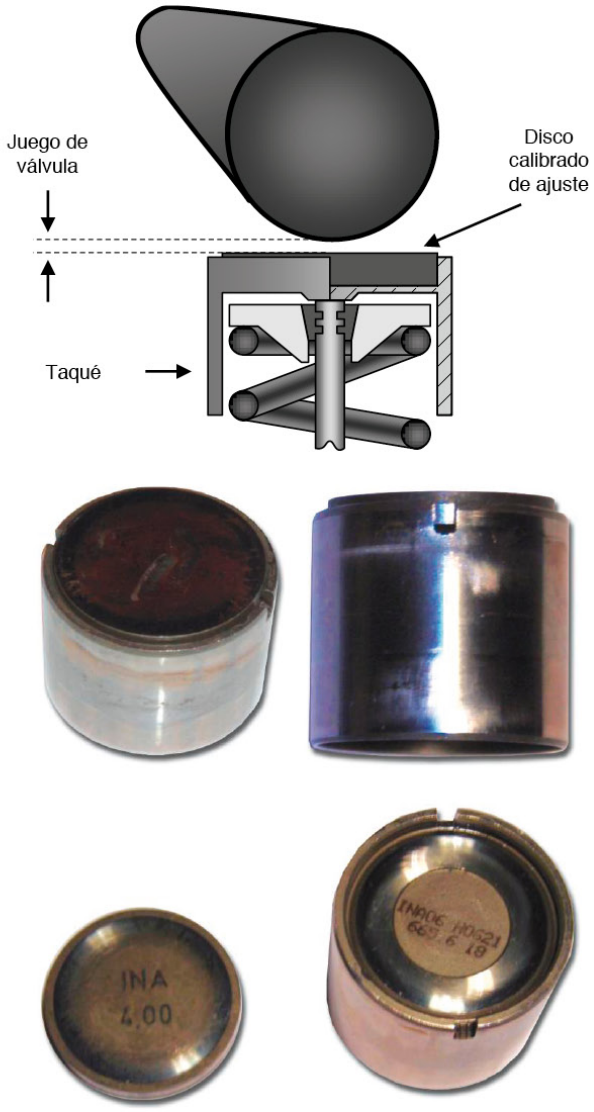


Figura 4.94. *Accionamiento de las válvulas por taqués mecánicos.*

de una forma similar a como lo hacen los taqués hidráulicos de los sistemas OHV. El funcionamiento es el siguiente:

» A: Cuando el taqué (5) está en contacto con la parte circular de la leva, se enfrenta el orificio de entrada de aceite (1) con el canal de presión de aceite mecanizado de la culata. De esta forma se llena de aceite la precámara (6), vence la fuerza del muelle que sostiene la bola que hace de válvula antirretorno (4) y penetra en la cámara de alta presión (3). Por otro lado, un muelle (9) exterior y concéntrico al de la válvula antirretorno empuja al conjunto pistón (7) - taqué contra la leva y el vástago de la válvula (2) anulando el juego, quedando compensado inicialmente. El pistón y el taqué forman un conjunto.

» B: cuando la leva ataca al taqué, este se desplaza hacia abajo haciendo que la válvula antirretorno mantenga el aceite en el interior de la cámara de alta presión. De esta forma, como el aceite es incompresible, todo el taqué se mueve como un conjunto sólido y la fuerza que aplica la leva sobre él se transmite al vástago de la válvula para la apertura de esta, aunque se produce una pequeña fuga de aceite entre el pistón y el cilindro (8). Cuando el taqué está de nuevo enfrentado con la parte circular de la leva el proceso se repite.

– **Por balancín flotante de rodillos:** un inconveniente que tienen los taqués hidráulicos es que aumentan la inercia del movimiento y existe una elevada fricción entre la leva y el taqué. Para evitar estos dos fenómenos, actualmente está muy extendido el uso del balancín flotante de rodillo, mostrado en la Figura 4.96, el cual reduce la fricción y disminuye las pérdidas mecánicas del motor. El balancín de rodillo se fabrica en embutición de chapa y tiene un rodillo que está en contacto con la leva. Por un extremo se apoya en el compensador hidráulico de juego, que funciona igual que un taqué hidráulico, y por el otro sobre el vástago de la válvula. La fricción entre la leva y el elemento que acciona la válvula se reduce al convertir el contacto en una rodadura en vez de un deslizamiento, gracias al rodillo dotado de un rodamiento. Además, el contacto entre leva y rodillo se lubrica proyectando aceite entre ambos elementos gracias a un taladro practicado en el balancín. Debido a la geometría de este tipo de palanca basculante, es posible una alzada de la válvula grande con una leva de lóbulo corto. El compensador de juego hidráulico tiene la doble función de compensar el juego de la válvula y de ser el apoyo del balancín.

Algunos motores incorporan el balancín flotante de rodillos con una configuración distinta, oscilando el balancín alrededor de un eje situado en uno de sus extremos y en el otro se instala el compensador hidráulico de juego, justo encima de la válvula, como muestra la Figura 4.97.

Recuerda que...

Además de todos los elementos constructivos que forman el motor existen otros elementos como juntas, selladores, fijatornillos... que cumplen la función de ajuste y sellado de elementos. Cuando se realiza una operación en el motor hay que consultar el manual de taller para aplicar los productos que tienen las características especificadas por el fabricante.

© Ediciones Paraninfo

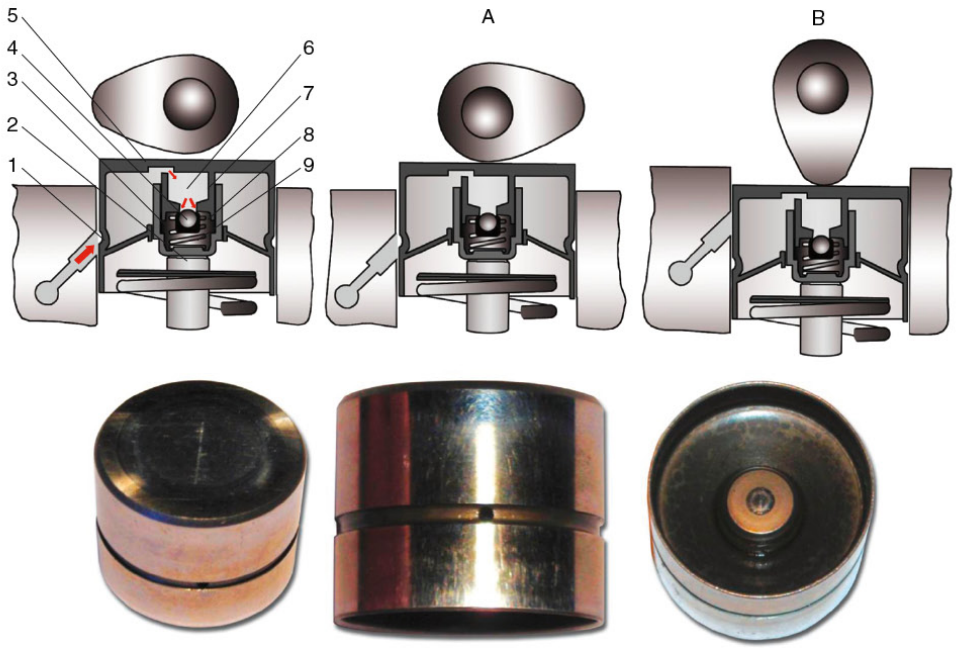


Figura 4.95. *Accionamiento de las válvulas por taqués hidráulicos.*

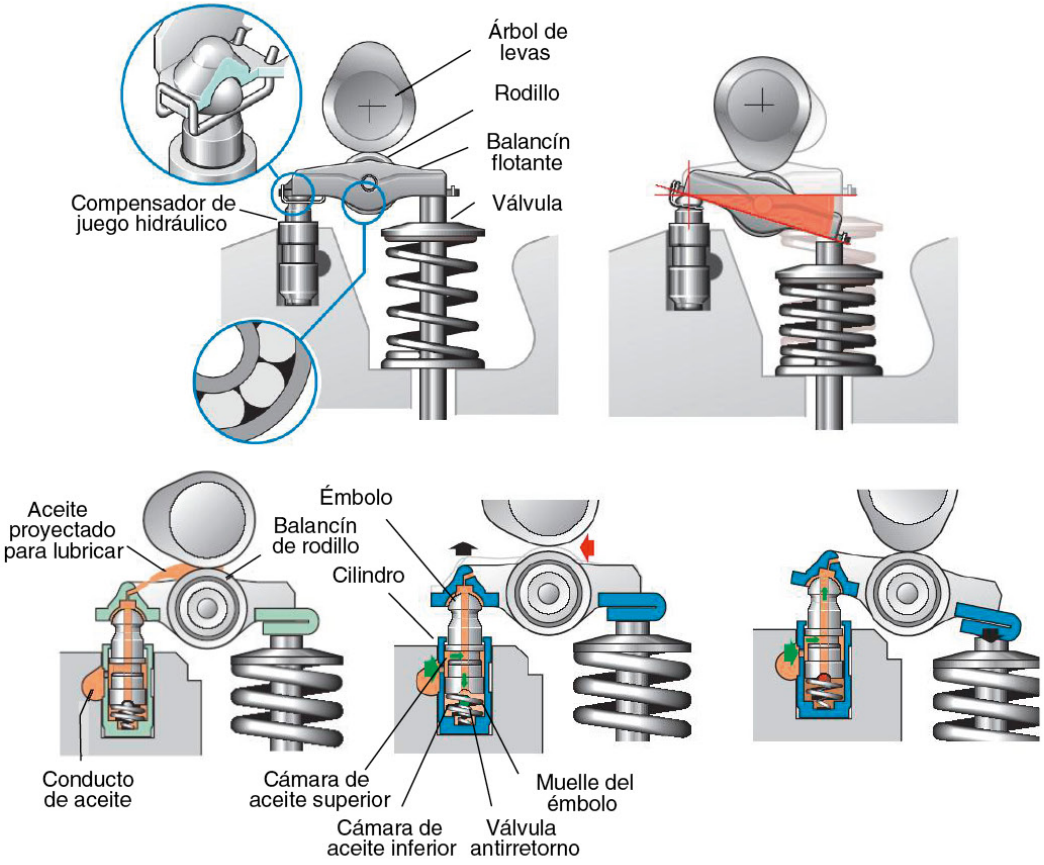


Figura 4.96. *Accionamiento por balancín flotante de rodillos.*

© Ediciones Paraninfo

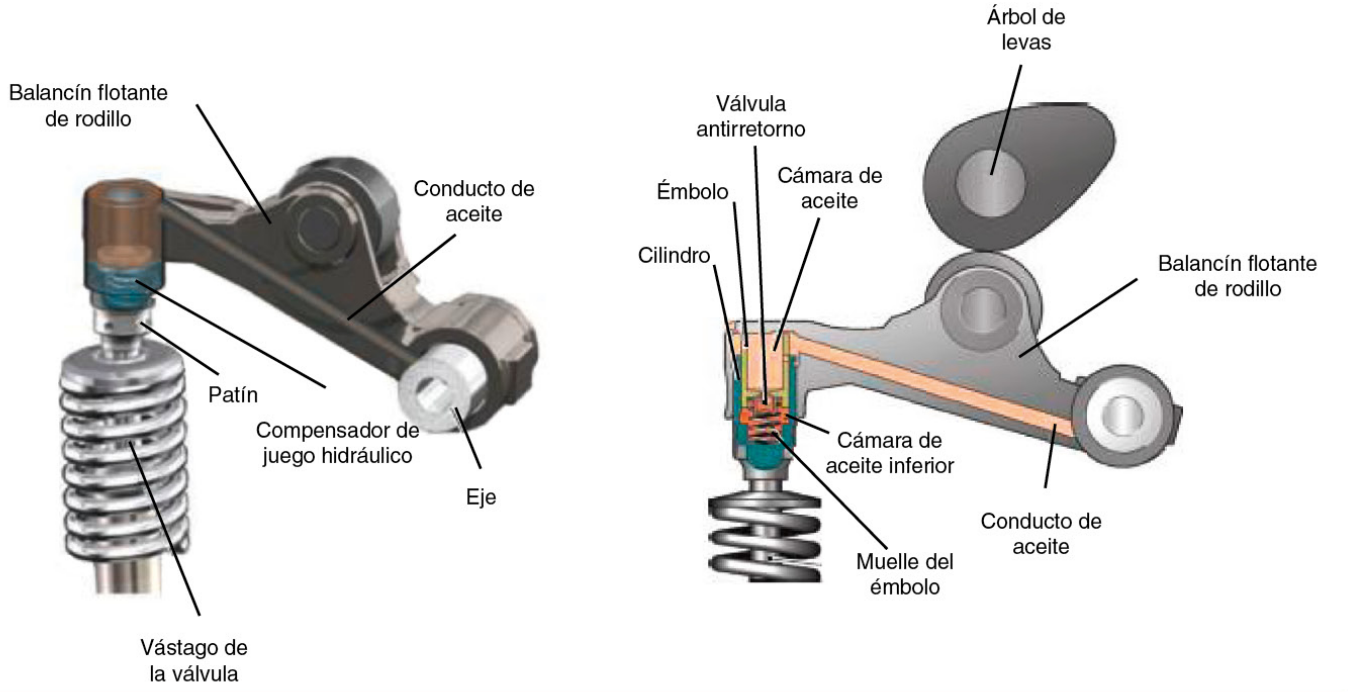
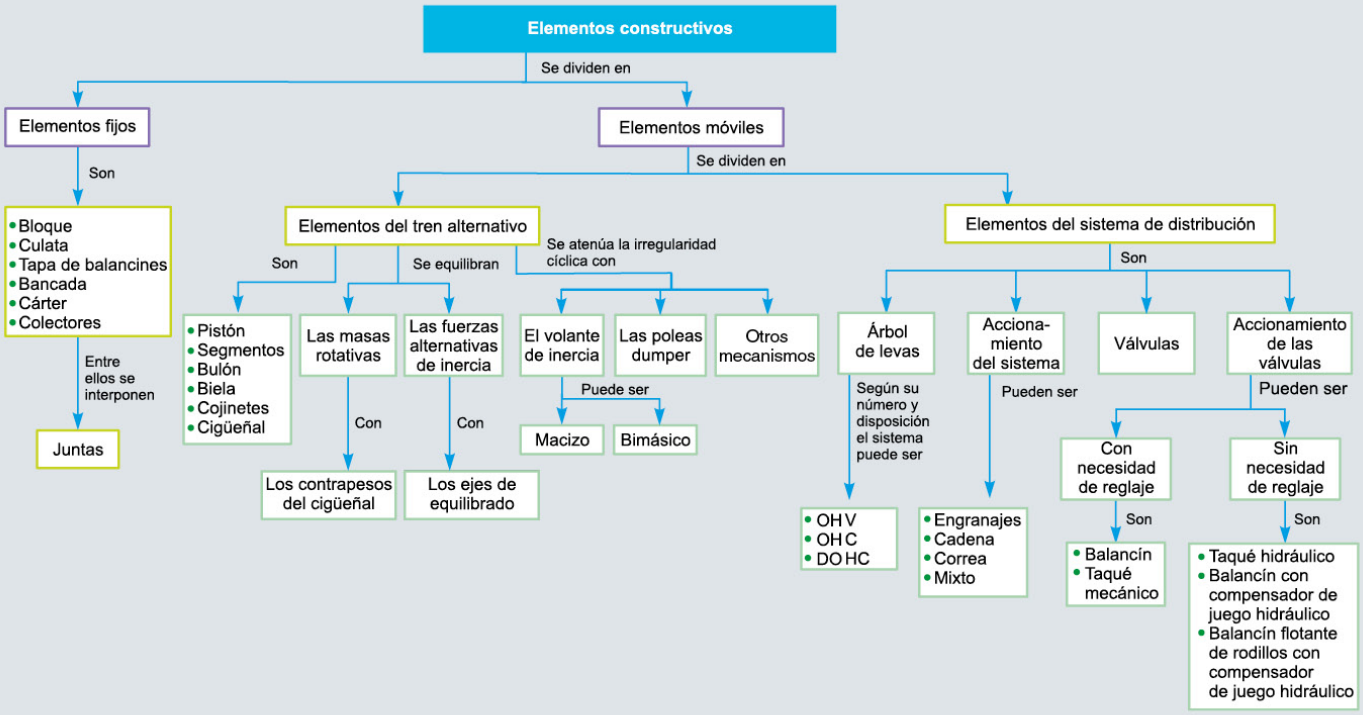


Figura 4.97. *Accionamiento por balancín flotante de rodillos con compensador de juego hidráulico encima de la válvula.*

© Ediciones Paraninfo

SÍNTESIS

Elementos constructivos



© Ediciones Paraninfo

COMPRUEBA

4.1. Los cilindros se empiezan a numerar:

a) Por el mismo lado de la toma de fuerza y en los motores en V a su vez por el bloque de la izquierda.

b) Por el lado opuesto a la toma de fuerza y en los motores en V a su vez por el bloque de la izquierda.

c) Por el mismo lado de la toma de fuerza y en los motores en V a su vez por el bloque de la derecha.

d) Por el lado opuesto a la toma de fuerza y en los motores en V a su vez por el bloque de la derecha.

4.2. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta respecto de las precámaras de un motor diésel?

a) Las cámaras de precombustión y las de turbulencia corresponden a motores diésel de inyección indirecta.

b) Las cámaras de precombustión y las de turbulencia corresponden a motores diésel de inyección directa.

c) Las cámaras de precombustión corresponden a motores diésel de inyección indirecta y las de turbulencia de inyección directa.

d) Las cámaras de precombustión corresponden a motores diésel de inyección directa y las de turbulencia de inyección indirecta.

4.3. La sección transversal del segmento que tiene mayor capacidad para transferir calor es la:

a) De forma de uña.

b) Trapezoidal exterior.

c) Trapezoidal interior.

d) Rectangular.

4.4. Uno de los objetivos que se pretenden al practicar el descentramiento del bulón con respecto al centro del pistón es:

a) Disminuir los esfuerzos sobre las paredes del cilindro durante la expansión y durante la compresión.

b) Aumentar los esfuerzos sobre las paredes del cilindro durante la expansión y durante la compresión.

c) Disminuir los esfuerzos sobre las paredes del cilindro durante la expansión y aumentarlos durante la compresión.

d) Aumentar los esfuerzos sobre las paredes del cilindro durante la expansión y disminuirlos durante la compresión.

4.5. El intervalo entre encendidos de un motor de seis cilindros de cuatro tiempos es:

a) 90°.

b) 120°.

c) 144°.

d) 180°.

4.6. Los ejes de equilibrado pueden compensar:

a) Las fuerzas alternativas de inercia de primer orden.

b) Las fuerzas de inercia alternativas de segundo orden.

c) Momentos longitudinales.

d) Todas las anteriores.

4.7. Un volante de inercia bimásico ayuda a disminuir:

a) Las fuerzas de inercia alternativas de primer orden.

b) Las fuerzas de inercia alternativas de segundo orden.

c) Las vibraciones torsionales.

d) Todas las anteriores.

4.8. El sistema de distribución que lleva el árbol o árboles de levas en la culata es:

a) El OHV.

b) El OHC.

c) El DOHC.

d) b y c son correctas.

4.9. La dilatación lineal de una válvula por efecto de la temperatura depende de:

a) La longitud de la válvula.

b) El tipo de material.

c) La temperatura inicial y final.

d) Todas las anteriores.

4.10. El tipo de accionamiento de las válvulas que menor inercia al movimiento y fricción tiene es:

a) El balancín.

b) El taqué mecánico de accionamiento directo.

c) El taqué hidráulico de accionamiento directo.

d) El balancín flotante de rodillos.

© Ediciones Paraninfo

ACTIVIDADES FINALES

Elementos constructivos

REALIZA

4.11. Clasificar los motores que hay en el taller en función del número y disposición de los cilindros.

4.12. Con los motores disponibles que hay en el taller, clasificar los tipos de cámaras de combustión que tienen, distinguiendo entre motores de gasolina y motores diésel.

4.13. Buscar en el taller diferentes tipos de pistones de motores gasolina y diésel fijándose en sus diferentes formas dependiendo de las características del motor.

4.14. Encontrar en el taller diferentes elementos que ayuden al equilibrado del motor, así como a su regularidad de funcionamiento, como ejes de equilibrado, poleas dumper y volantes de inercia bimásicos, anotando las características del motor que los incorpora y cuál es su función.

4.15. Seleccionar motores con mecanismos de accionamiento del sistema de distribución distintos, como correa, cadena o engranajes e indicar qué elementos mueven, así como los dispositivos que ayudan a guiarlos y conservar su tensado, en el caso de correas y cadenas.

4.16. Tomar diferentes elementos de accionamiento de las válvulas, como balancines, taqués mecánicos, taqués hidráulicos o balancines flotantes de rodillo, analizándolos visualmente y anotando ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.

4.17. Realizar el gráfico de secuencia de tiempos para un motor de seis cilindros en línea cuyo orden de encendido es 1 – 5 – 3 – 6 – 2 – 4, indicando el intervalo entre encendidos.

4.18. Realizar el gráfico de secuencia de tiempos para un motor de ocho cilindros en uve cuyo orden de encendido es 1 – 5 – 4 – 8 – 6 – 3 – 7 – 2, indicando el intervalo entre encendidos.

4.19. Calcular cuánto se dilata una válvula de escape, cuya longitud inicial es de 110 mm a una temperatura de 25 °C, cuando se calienta a 330 °C. Dato: α_{acero} = 0,0115 mm/(m °C).

4.20. Calcular qué temperatura alcanza una válvula de escape que se alarga 0,45 mm, si inicialmente mide 95 mm a una temperatura de 20 °C. Dato: α_{acero} = 0,0115 mm/(m °C).

INVESTIGA

4.21. Rellenar la siguiente tabla donde se asocian elementos constructivos con sus correspondientes daños posibles.

Elemento constructivo	Posibles daños
Bloque de cilindros	
Bloque	
Bancada	
Pistones	
Segmentos	
Biela	
Cigüeñal	

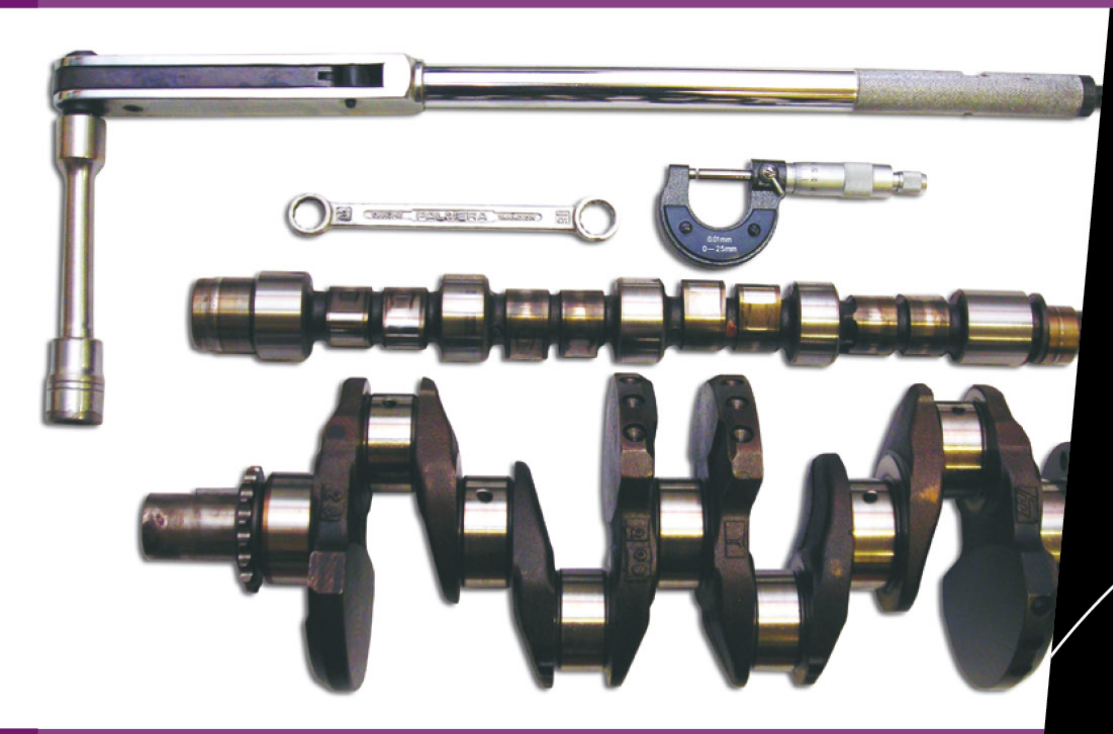
4.22. Rellenar la siguiente tabla donde se asocian elementos constructivos con sus correspondientes materiales de fabricación.

Elemento constructivo	Materiales de fabricación
Bloque de cilindros	
Bloque	
Bancada	
Pistones	
Segmentos	
Biela	
Cigüeñal	

4.23. Buscar en internet o en bibliografía especializada nuevos materiales empleados en la fabricación de motores.

© Ediciones Paraninfo

Desmontaje, verificación y montaje



5

El presente capítulo desarrolla las operaciones de desmontaje, verificación y montaje de un motor de combustión interna.

Dado que hay diferentes tipos de motores y multitud de disposiciones constructivas, se va a tomar como base de la explicación de las operaciones un motor de cuatro tiempos de cuatro cilindros en línea con un único árbol de levas en culata movido por correa dentada y con accionamiento de válvulas por medio de balancines.

Cada operación se divide en cinco apartados: mando de la distribución, culata, elementos de la distribución, tren alternativo y bloque de cilindros. En cada apartado se detallan las operaciones realizadas sobre el motor de referencia, explicando posteriormente las variaciones de elementos o diferentes disposiciones en otro tipo de motores.

CONTENIDOS

5.1. Extracción y preparación del motor
5.2. Desmontaje
5.3. Verificación
5.4. Montaje

OBJETIVOS

- Interpretar correctamente la documentación técnica referente a las operaciones de mantenimiento y reparación de los motores térmicos.
- Manejar los útiles, las herramientas y los aparatos de medida necesarios para el diagnóstico.
- Conocer las técnicas básicas de desmontaje, verificación y montaje.
- Investigar las causas de las averías más frecuentes.

5.1. Extracción y preparación del motor

Cuando es necesario reparar un motor, lo primero que hay que hacer es extraerlo del vehículo. En cualquier proceso de mantenimiento o reparación sobre un vehículo hay que consultar el manual de taller, ya que cada marca y modelo tiene sus peculiaridades, además de las normas de seguridad y de protección del medio ambiente, sobre todo en lo referente a la clasificación y retirada de residuos como aceites, refrigerantes, filtros y otros materiales. En cualquier caso, a continuación se van a dar algunas orientaciones generales de los pasos que hay que seguir a la hora de preparar el motor para su extracción de la carrocería:

- Desconectar la batería.
- Situar el vehículo en un elevador siguiendo las normas de seguridad prescritas.
- Quitar el cubre-cárter.
- En algunos vehículos puede ser necesario retirar otros elementos de la carrocería como el capó o el paragolpes.
- Vaciar el circuito de refrigeración, a través de un tapón de vaciado o bien soltando alguno de los manguitos, según marque el fabricante.
- Extraer el aceite del motor y de la caja de velocidades, este último si es necesario quitar alguna de las transmisiones y durante la operación se pueda salir el aceite por el lado del diferencial (suponiendo un vehículo con tracción delantera). Para quitar las transmisiones hay que desmontar las ruedas delanteras, la tuerca de cada una de las transmisiones, y, según vehículos, la rótula de la bieleta de dirección, la pinza de freno (sujetando esta a la carrocería para que no quede suspendida de los latiguillos), los tornillos de fijación del pie del amortiguador y en algunos casos la barra estabilizadora. Posteriormente se extrae la transmisión del lado de la rueda y después del lado del diferencial.
- Quitar la brida del escape y posteriormente desplazar la línea de escape o desmontar parte de la misma.
- Desacoplar y retirar el filtro de aire y los conductos de la admisión. También se retiran los tubos de combustible. En vehículos que incorporan bomba eléctrica de carburante es recomendable aliviar la presión del circuito quitando el fusible de la bomba y arrancando el motor hasta que este se pare por falta de suministro.
- Desmontar los manguitos de refrigeración y del sistema de calefacción que entran en el habitáculo. En algunos casos es necesario retirar el radiador con los electroventiladores. También es necesario desmontar los racores que van al radiador de aceite si lo llevase separado del motor.
- Normalmente es necesario desacoplar el cable o mando del embrague y el varillaje del cambio (suponiendo un vehículo con transmisión manual).
- Quitar todas las conexiones eléctricas: alimentación del motor de arranque, trenzas de masa, sensores, captador de PMS…
- Desacoplar otro tipo de conexiones como el cable del acelerador o el del sistema de arranque en frío, si lo incorpora, el cable del velocímetro, si es mecánico…
- Cuando el vehículo incorpore bomba de la servodirección accionada mecánicamente por el motor o compresor del sistema de aire acondicionado, siempre que sea posible se desacoplará del motor y se quedará fijado a la carrocería para que dichos circuitos permanezcan cerrados y no sea necesario llenarlos posteriormente ahorrando tiempo y coste.
- Separar el motor de la caja de cambios quitando los tornillos que los unen. Hay modelos en los que la extracción del motor obliga a la extracción conjunta del motor y de la caja de cambios.

Existen diferentes posibilidades de sujetar el motor a la carrocería y como consecuencia de ello algunos motores se extraen por encima o por debajo del vehículo. Aunque hay multitud de disposiciones constructivas, se pueden distinguir tres grandes tipos:

- **Vehículos con cuna de motor:** en este caso, como muestra la Figura 5.1, el conjunto motor, caja de cambios, transmisiones, parte de la suspensión delantera y parte del sistema de dirección está sostenido por un cuadrilátero atornillado a la carrocería llamado cuna de motor. Cuando es posible extraer el motor solamente, se sueltan las uniones del mismo a la cuna y se saca por la parte superior del vano motor, una vez desligado de la caja de cambios y resto de elementos necesarios para su extracción. Cuando es necesario extraer el conjunto motor-caja de cambios, para ahorrar tiempo es preferible apoyar la cuna en un soporte especial, desacoplarla de la carrocería y subir esta con un elevador, quedando el conjunto de motor y caja de cambios sobre la cuna, en el suelo, mejorando la accesibilidad. En este último caso, se puede quedar unido a la cuna el motor, la caja de cambios, las transmisiones, parte del sistema de suspensión y dirección y las ruedas, aunque es preferible desmontar algunos elementos mientras la cuna está aún atornillada a la carrocería.
- **Vehículos sin cuna de motor:** cuando el grupo motopropulsor está unido directamente a la carrocería mediante soportes, el tipo y número de los mismos

© Ediciones Paraninfo

depende de cada vehículo. El motor se puede extraer solo o con la caja de cambios, por encima o por debajo del vehículo, como muestra la Figura 5.2. En cualquiera de los casos, al igual que en vehículos con cuna, para extraer el motor hay que disponer de los útiles adecuados, si se emplea grúa debe estar dimensionada para el peso del motor y si se utilizan cadenas o eslingas han de estar destinadas a ese fin.

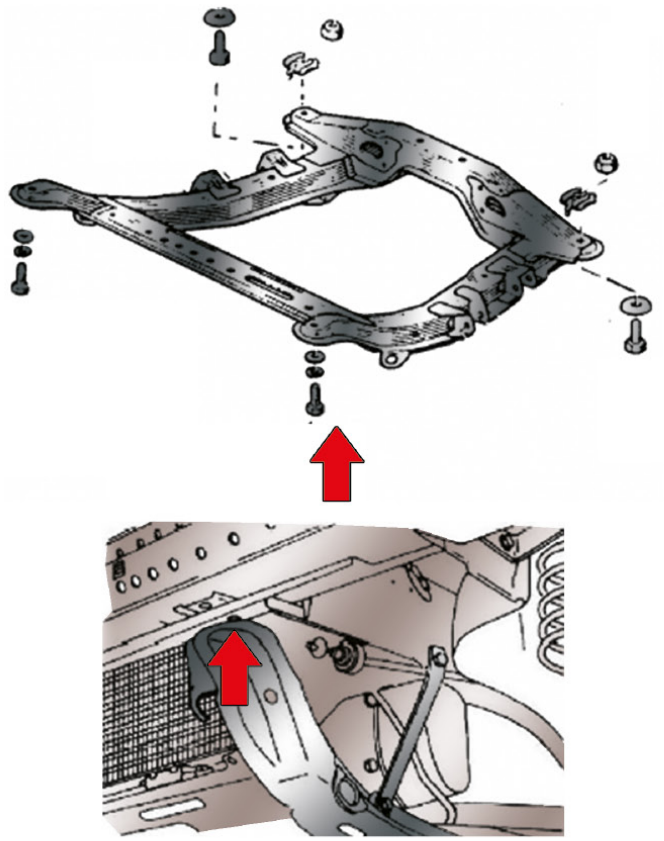
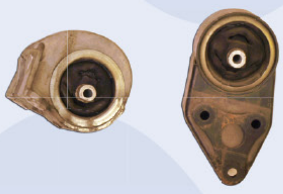


Figura 5.1. *Cuna de motor.*

Sabías que...

Las uniones del motor y caja de cambios a la carrocería se realizan por medio de uniones elásticas llamadas *silentblocks*, normalmente de caucho, para absorber las vibraciones y el balanceo del motor en aceleración y deceleración.



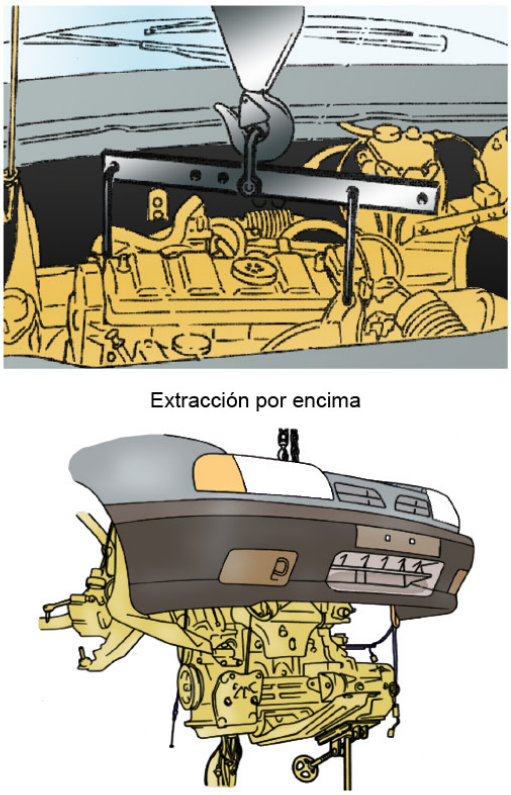


Figura 5.2. *Extracción del motor en un vehículo sin cuna.*

- **Vehículos con bastidor:** en el caso de vehículos con bastidor, el motor se fija sobre los largueros y travesaños del mismo, como ocurre en muchos todoterreno. Normalmente en estos modelos el motor se extrae por la parte superior, como indica la Figura 5.3.

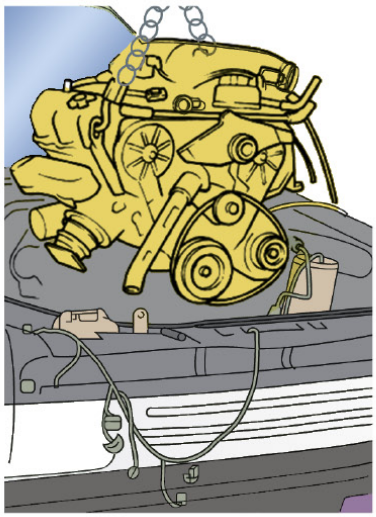


Figura 5.3. *Extracción del motor en un vehículo con bastidor.*

© Ediciones Paraninfo

Una vez extraído el motor, ha de colocarse en un soporte para motores, diseñado y homologado para este fin y que resista el peso del motor. Cada fabricante tiene sus propios soportes y útiles para su fijación aunque también los hay universales como el de la Figura 5.4.

Figura 5.4. *Soporte de motores universal.*

Una vez colocado el motor en el soporte, se le extraen los elementos auxiliares:

- Sistema de encendido, si es de ciclo Otto.
- Sistema de alimentación (carburador, cuerpo de la inyección monopunto o rampa de inyección), la bomba de combustible, si es mecánica.
- El embrague.
- El alternador.
- El turbocompresor, si es sobrealimentado.
- Los colectores de admisión y de escape.
- Todos aquellos elementos tales como bridas, soportes, etc., que puedan entorpecer las operaciones de desmontaje y verificación.

Algunos de estos elementos auxiliares son los que aparecen en la Figura 5.5.

Una vez realizado todo este proceso, el motor queda preparado para proceder a su desmontaje, como se aprecia en la Figura 5.6.

Recuerda que...

El soporte del motor debe ser el adecuado para su peso y hay que seguir las normas de seguridad marcadas por el fabricante.

En este caso, como muestra la figura, el soporte está diseñado para aguantar hasta 750 libras. Como una libra equivale a 0,454 kg, el soporte puede mantener un motor de hasta 340 kg.

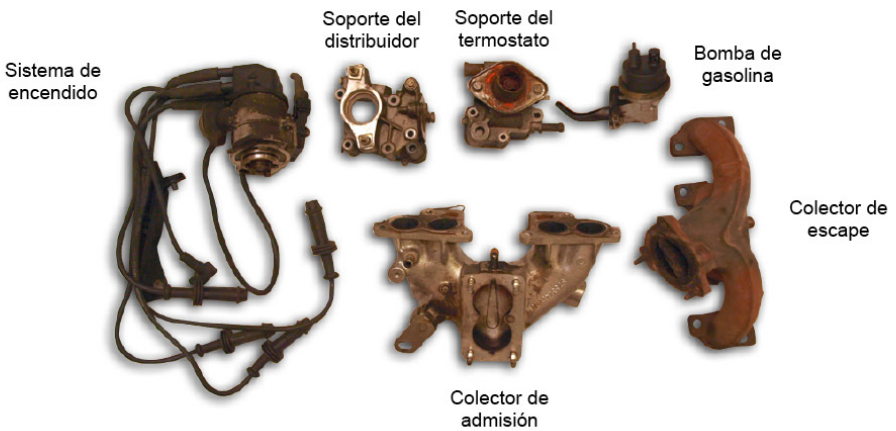


Figura 5.5. *Elementos auxiliares extraídos del motor.*

© Ediciones Paraninfo

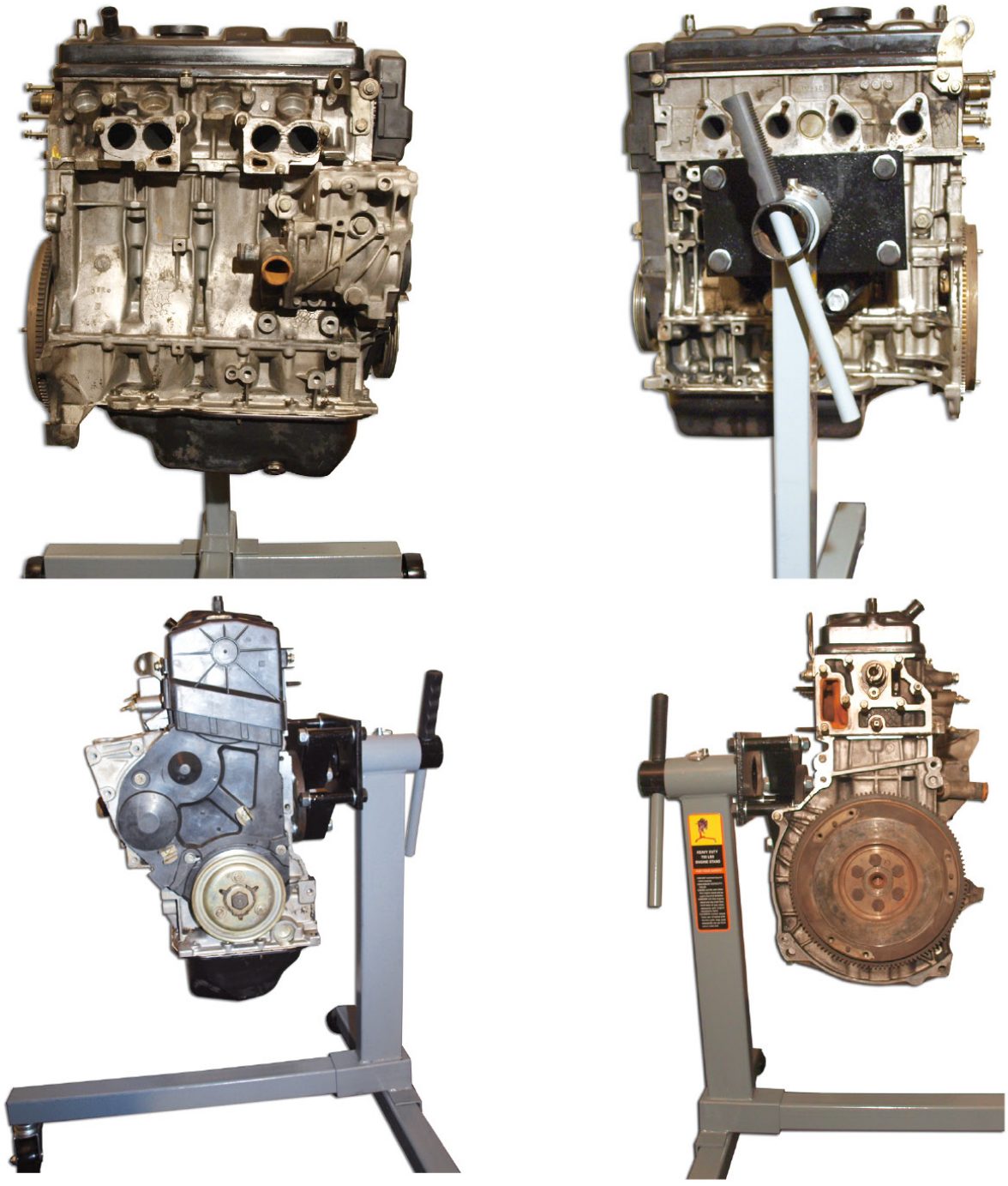


Figura 5.6. *Motor preparado para su desmontaje.*

5.2. Desmontaje

Antes de proceder con el desmontaje del motor es conveniente hacer las siguientes consideraciones:

- Hay que preparar bien el espacio de trabajo, en cuanto a dimensiones, limpieza y ventilación.
- Las operaciones de desmontaje, verificación y montaje deben realizarse siguiendo el manual de taller del fabricante.
- Se debe tener a mano la herramienta necesaria sabiendo cuándo hay que emplear cada tipo de llave. No se emplearán llaves fijas ni la carraca para aflojar o apretar tornillos o tuercas que requieran mucho esfuerzo,

© Ediciones Paraninfo

Figura 5.7. *Algunas herramientas comunes.*

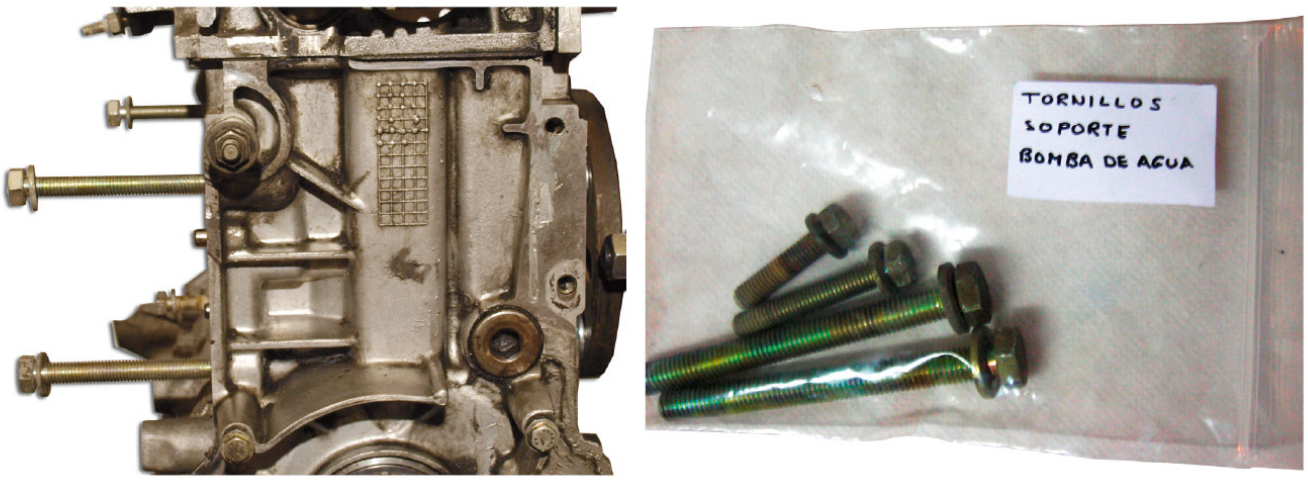


Figura 5.8. *Recomendaciones para la clasificación de tornillos y tuercas: dejarlos en el propio motor (izquierda) o guardarlos en una bolsa y etiquetarlos (derecha).*

© Ediciones Paraninfo

solamente para la aproximación de los mismos. También hay que tener a mano los instrumentos de metrología que se vayan a necesitar, teniendo especialmente cuidado con ellos y no golpearlos, forzarlos, someterlos a cambios bruscos de temperatura y sacándolos de su estuche solo cuando se vayan a utilizar guardándolos tras su uso. La Figura 5.7 muestra algunas herramientas y aparatos de medida comunes.

- El espacio de trabajo ha de estar ordenado. Cuando se desmonta un motor la cantidad de piezas y tornillos que se acumulan es considerable. Es recomendable, a fin de no perder piezas y reconocer dónde van ubicadas el dejar, siempre que sea posible, el mayor número de tuercas y tornillos posible sobre el motor una vez desmontada la pieza que unen a él o bien introducirlos en bolsas herméticas transparentes y etiquetadas, como muestra la Figura 5.8.
- Hay tener a mano algún material absorbente, como serrín o sepiolita, para que en caso de derramarse algún líquido como combustible, aceite o refrigerante lo pueda absorber y después ser trasladado al contenedor de residuos correspondiente.

5.2.1. Mando de la distribución

Para realizar el desarmado del mando de la distribución es necesario quitar la polea que mueve la correa de accesorios inmovilizando el cigüeñal. Lo más fácil es emplear un útil como el de la Figura 5.9, que aprovecha los dientes del volante de inercia para frenarlo y mantenerlo en su posición.

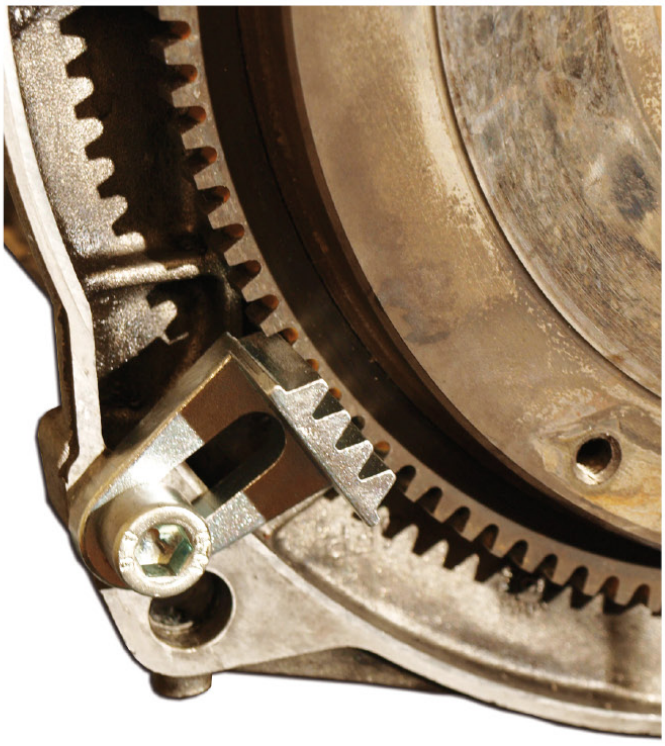


Figura 5.9. *Útil para inmovilizar el volante de inercia.*

Una vez inmovilizado el cigüeñal se puede aflojar y extraer la polea de accesorios, pudiendo desmontar los cárteres de la distribución, y en la misma operación se aprovecha para aflojar y retirar el volante de inercia, como muestra la Figura 5.10.

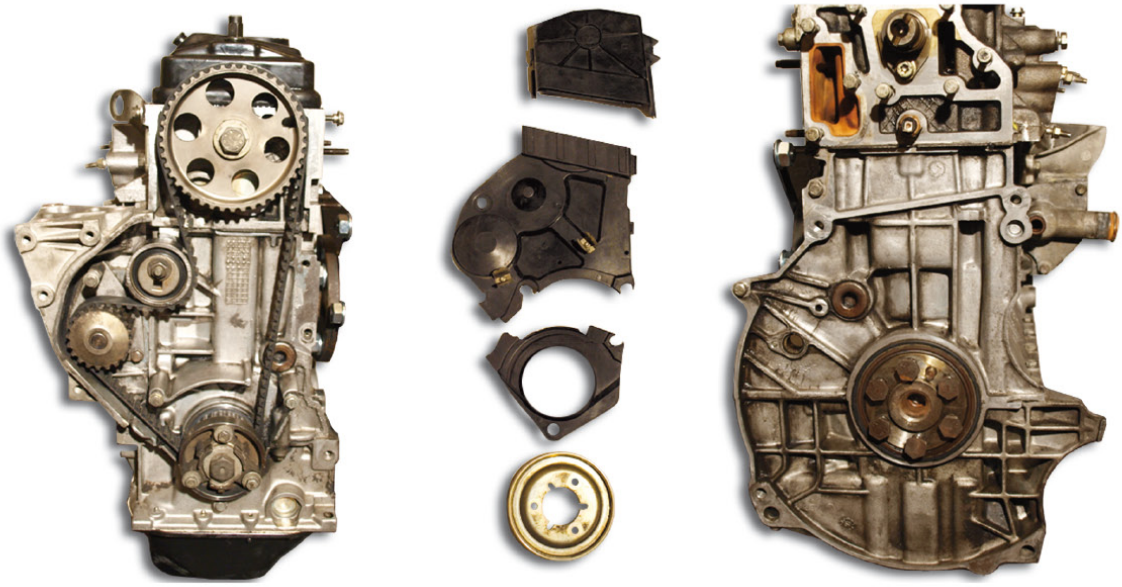


Figura 5.10. *Desmontaje de la polea de accesorios, cárteres de distribución y volante de inercia.*

© Ediciones Paraninfo

Figura 5.11. *Tensor de la correa de distribución.*

A continuación se puede retirar la correa de distribución aflojando el tensor, mostrado en la Figura 5.11. Normalmente, en la operación de desmontaje se suele sustituir la correa de distribución, si se desea volver a instalar hay que marcar su sentido de giro, según la Figura 5.12, y conservarla adecuadamente. Todos los motores suelen llevar marcas para el calado de la distribución u orificios que permiten el bloqueo de árbol de levas y cigüeñal para su puesta en fase. Si no es así o en caso de duda, hacer las marcas necesarias para realizar posteriormente el calado de la distribución.

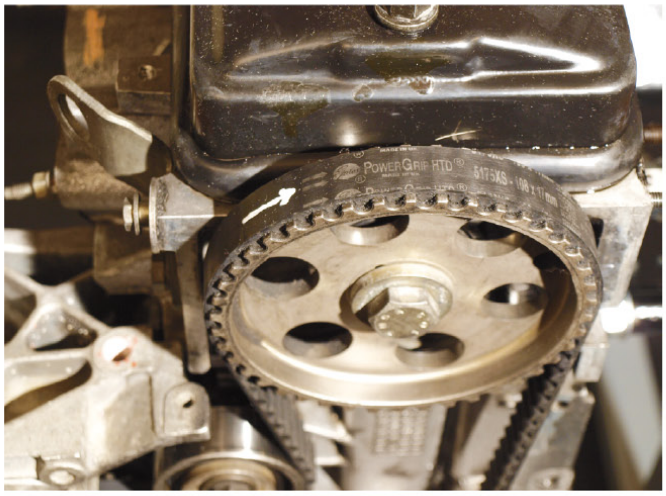
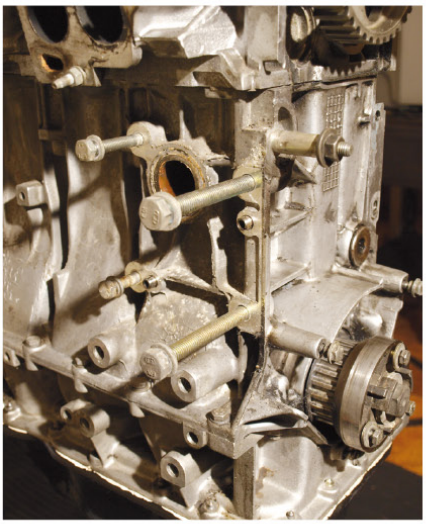


Figura 5.12. *Marcado del sentido de giro de la correa de distribución.*

Se puede aprovechar para desmontar el conjunto soporte de la bomba de agua, como muestra la Figura 5.13.

Para facilitar el posterior desmontaje del árbol de levas resulta conveniente en este punto aflojar la polea del árbol de levas. Para bloquearlo se emplea el orificio de calado de la distribución introduciendo un tornillo del mismo diámetro, como aparece en la Figura 5.14.

En motores con dos árboles de levas accionados por correa se procedería de forma similar atendiendo a las marcas de distribución.



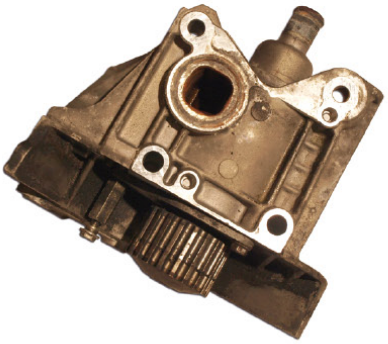


Figura 5.13. *Extracción del conjunto soporte de la bomba de agua.*

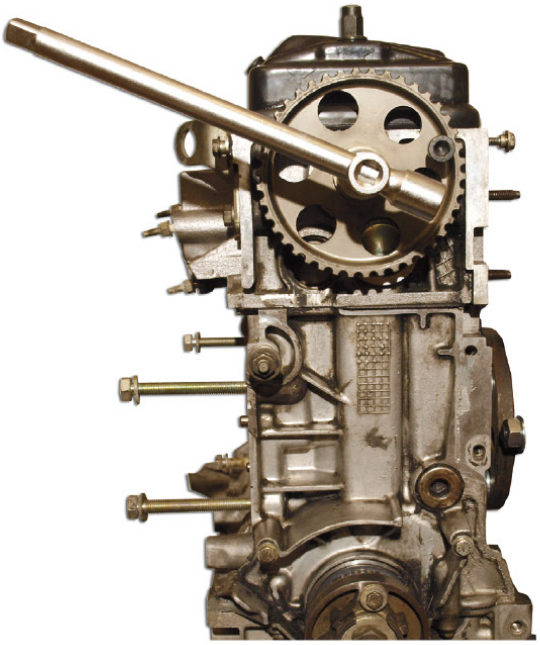


Figura 5.14. *Aflojado de la polea del árbol de levas.*

© Ediciones Paraninfo

Recuerda que...

En caso de duda o de no existir marcas de distribución, realizar manualmente las marcas pertinentes para el posterior calado de la distribución.

Cuando el accionamiento de la distribución es mediante cadena, siguiendo la Figura 5.15, es necesario colocar las marcas de distribución en una posición determinada (1), normalmente poniendo el pistón número 1 en el PMS de la carrera de compresión (2), quitar el tensor de la cadena (3), el patín guía de la culata (4) y las poleas del árbol de levas (5). Posteriormente se quita la polea de accesorios del cigüeñal (6), pudiendo ser necesario un extractor, el cárter de distribución (7), el resto de patines guía y finalmente la cadena (8). Si el motor dispone de árbol de levas en el bloque o lateral, el procedimiento es similar pero más simplificado ya que no es necesario quitar la cadena de distribución para retirar la culata.

En el caso de accionamiento de la distribución por engranajes, una vez retirado el cárter de distribución, se aflojan las ruedas dentadas inmovilizándolas previamente

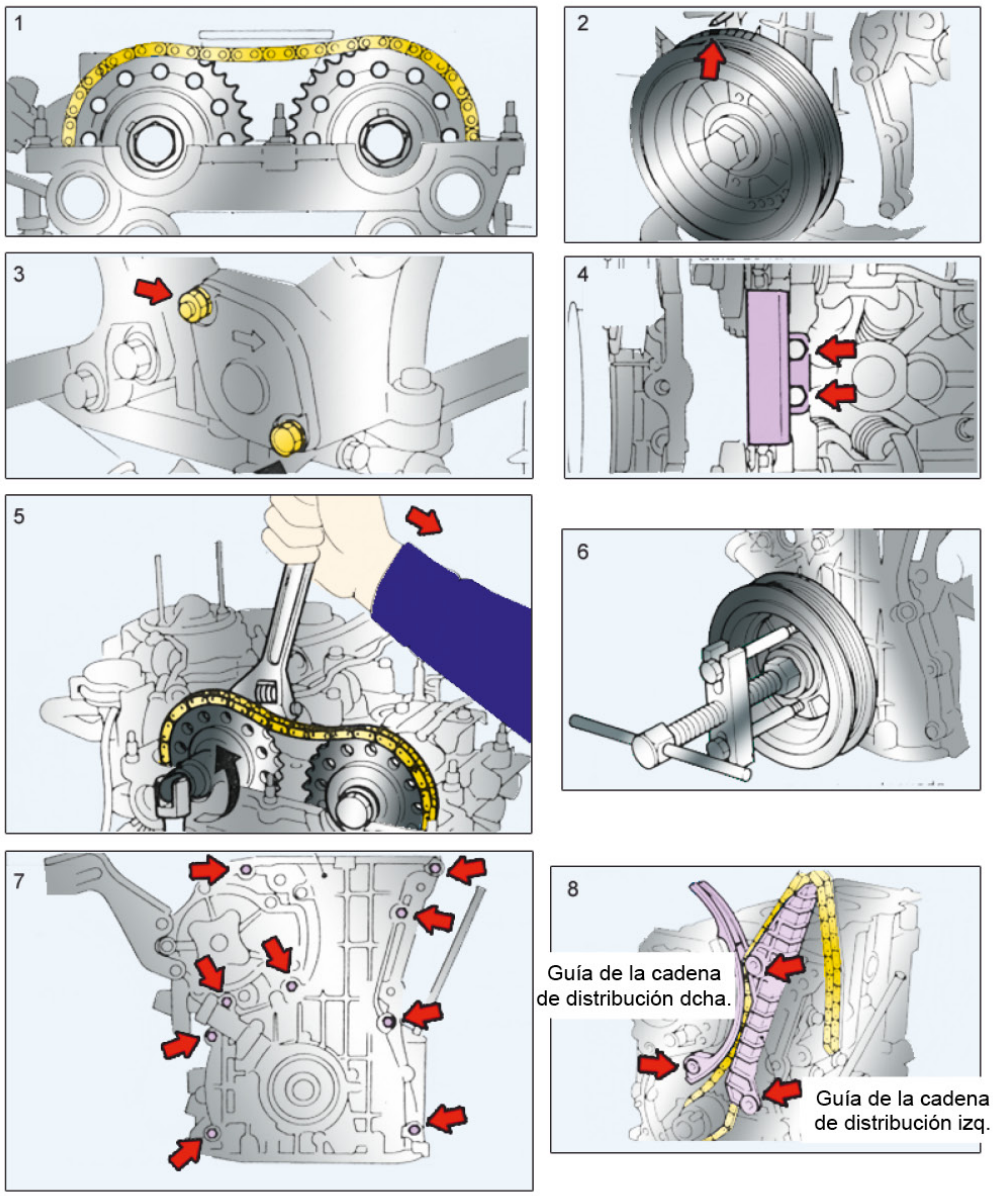


Figura 5.15. *Secuencia de procesos genéricos para retirar la cadena de distribución.*

© Ediciones Paraninfo

mediante algún sistema de enclavamiento y después puede ser necesario emplear un extractor para retirarlas, como muestra la Figura 5.16.

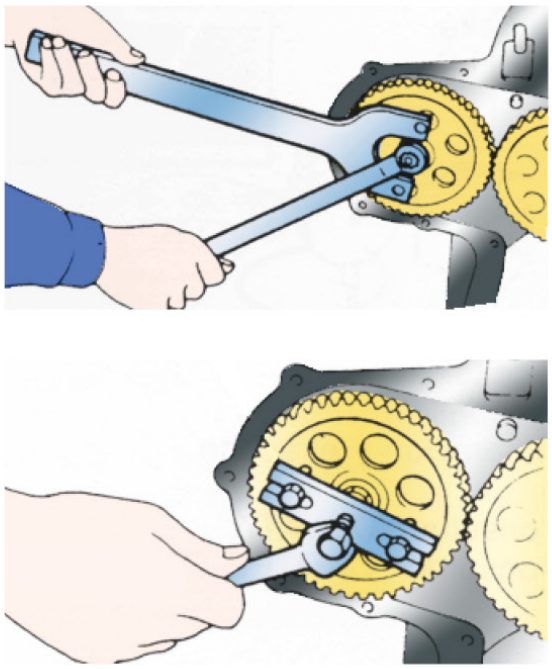


Figura 5.16. *Desmontaje del mando de la distribución por tren de engranajes.*

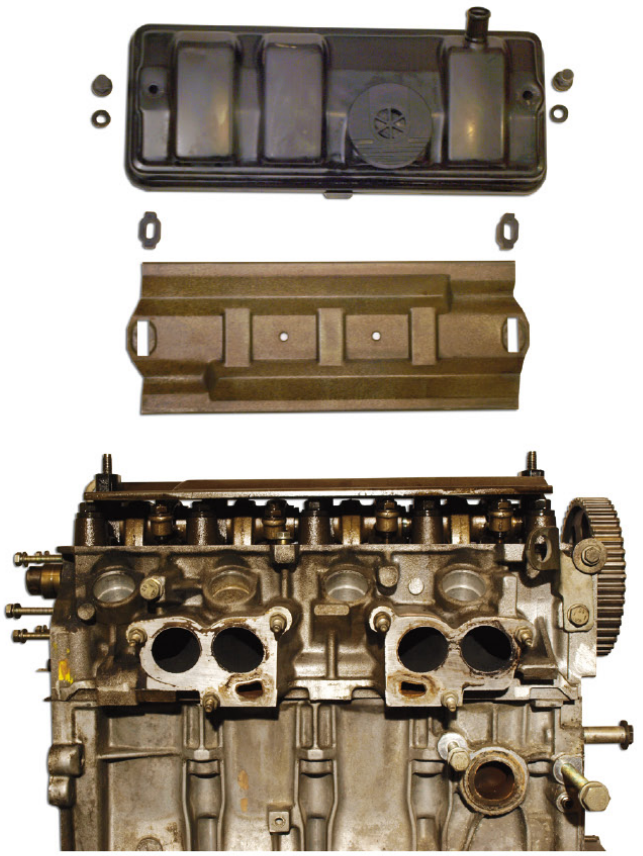


Figura 5.17. *Desmontaje de la tapa de balancines y deflector de aceite.*

5.2.2. Culata

Una vez desmontados los elementos del mando de la distribución, se puede desmontar la culata. Para ello se retira la tapa de balancines y el deflector de aceite, según la Figura 5.17.

Retirados estos elementos, quedan a la vista los tornillos de fijación de la culata al bloque, que en este caso, sirven también para fijar el eje de balancines a la culata, como muestra la Figura 5.18. Para aflojarlos hay que hacerlo en el orden prescrito por el fabricante, para evitar deformaciones, o si no se dispone de dicha información, seguir un orden en cruz y de fuera hacia adentro. En cualquier caso, se irá aflojando poco a poco para aliviar la presión de manera progresiva.

Ahora se puede retirar la culata del bloque, teniendo la precaución de ponerla en los soportes adecuados o si no se dispone de ellos tener cuidado de no apoyar el plano de junta sobre un material duro como un banco de trabajo de chapa, en el suelo… Si fuera necesario apoyarla en esa posición se pondrá debajo un material blando como un cartón, por ejemplo.

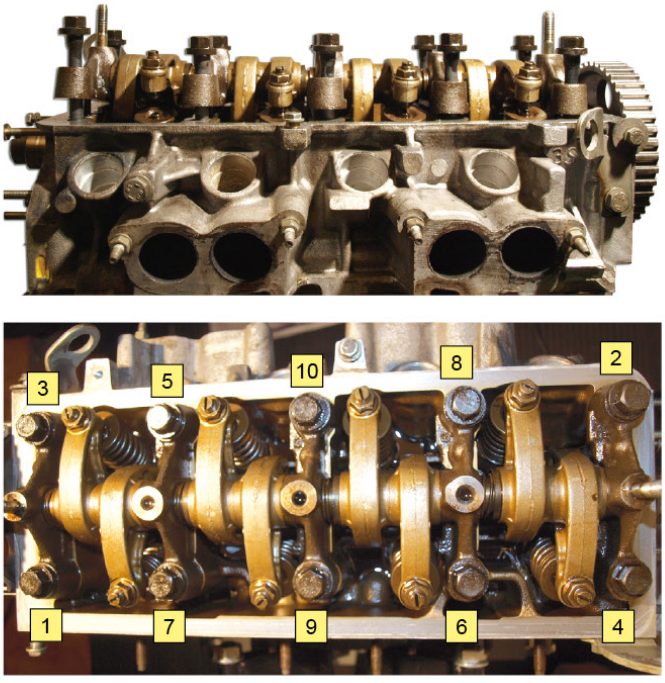


Figura 5.18. *Aflojado de los tornillos de la culata.*

© Ediciones Paraninfo

5.2.3. Elementos de la distribución

En el proceso de extracción de la culata fue necesario retirar el eje de balancines, marcando su posición en la culata, según la Figura 5.19. Como se había aflojado previamente el tornillo de fijación de la polea del árbol de levas, se puede separar esta, el retén de aceite y la horquilla de sujeción del otro extremo del árbol, como muestra la Figura 5.20.

Una vez retirados estos elementos, se puede extraer el árbol de levas por el lado de la distribución, como puede verse en la Figura 5.21. En este caso, los apoyos del árbol de levas van directamente mecanizados en la culata, si llevase cojinetes, las tapas de los mismos deben aflojarse en

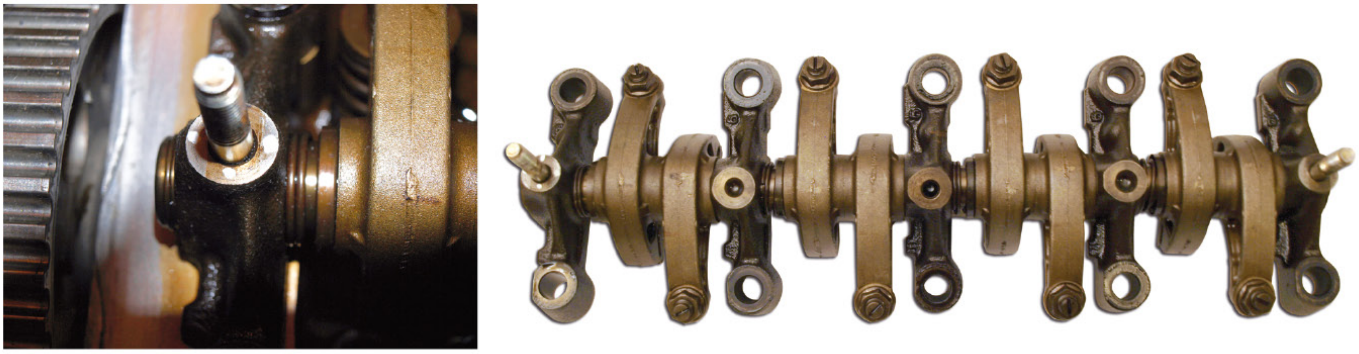


Figura 5.19. *Eje de balancines y marcado de posición del mismo en la culata.*

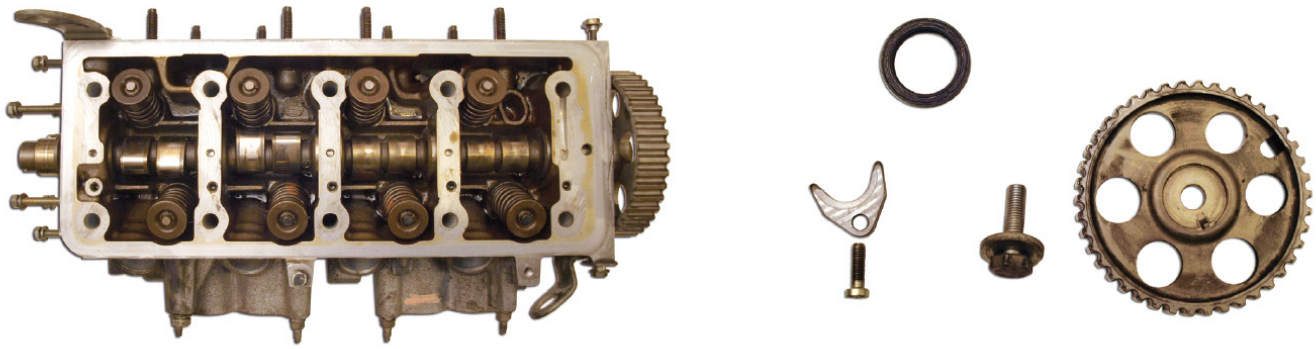


Figura 5.20. *Polea del árbol de levas, retén de aceite y horquilla de sujeción.*

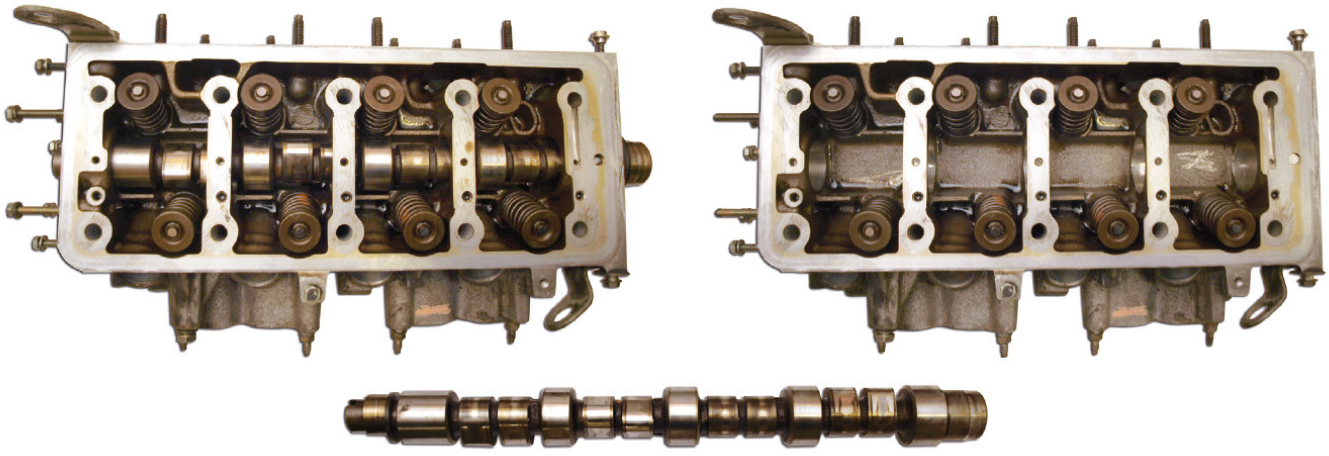


Figura 5.21. *Extracción del árbol de levas.*

© Ediciones Paraninfo

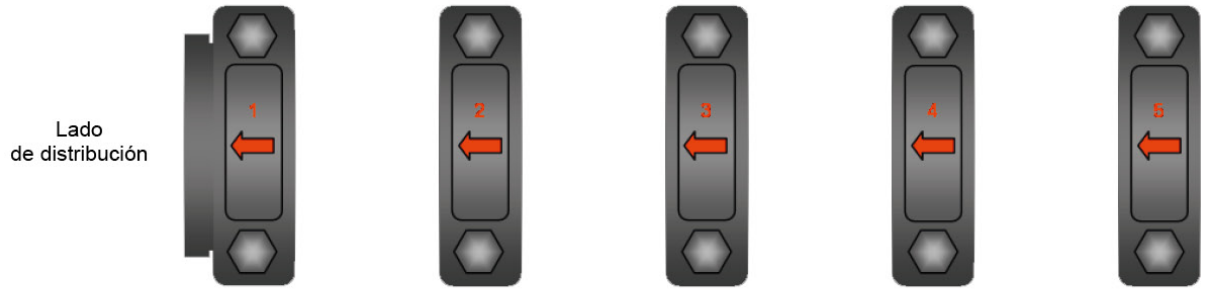


Figura 5.22. *Marcado de posición y orientación de las tapas de los cojinetes del árbol de levas.*

el orden establecido por el fabricante y debe marcarse tanto posición como orientación de los mismos, según la Figura 5.22. El marcado puede hacerse mediante un granete, un rotulador, típex… teniendo en cuenta que si se lavan las piezas la tinta puede desaparecer y que al montar el motor debe eliminarse la pintura para que no circule por el interior del motor y pueda obstruir los conductos.

Con el árbol de levas quitado se puede proceder al desmontaje de las válvulas. Para ello es necesario emplear el compresor de muelles de válvulas. Su montaje consiste en sujetar por un lado la parte inferior la cabeza de la válvula y por otro lado el plato de retención del muelle, según la Figura 5.23.

Figura 5.23. *Compresor de muelles de válvulas y su montaje.*

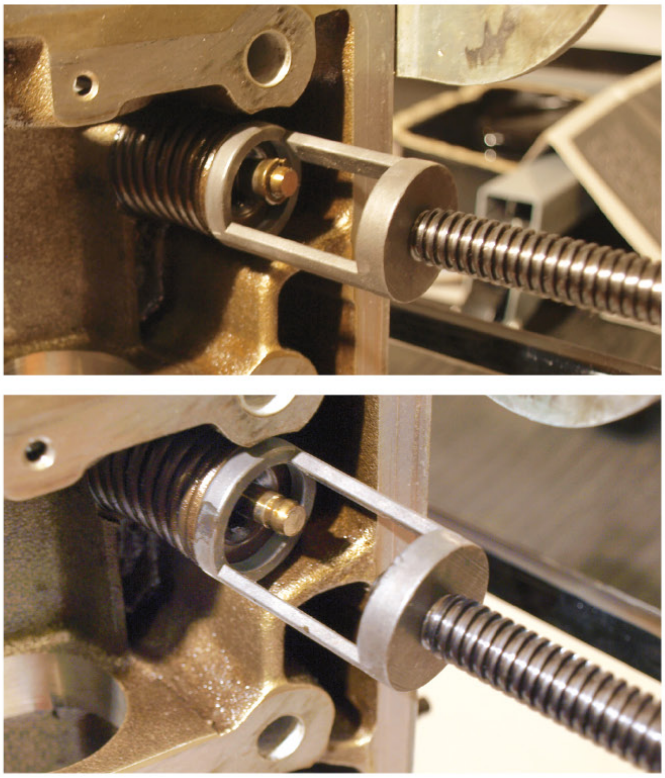


Figura 5.24. *Desmontaje de las válvulas.*

© Ediciones Paraninfo

Al comprimir el muelle, se pueden retirar los semiconos, como muestra la Figura 5.24. Después se descomprime el muelle y se saca, junto con el plato de retención, por la parte de arriba de la culata y la válvula por la parte de abajo.

Siguiendo el mismo procedimiento se desmontan todas las válvulas teniendo cuidado de que queden bien identificadas en cuanto a posición y que cada muelle, plato de retención y semiconos correspondan a su válvula. El conjunto de válvulas desmontadas quedaría como muestra la Figura 5.25.

Figura 5.25. *Conjunto de válvulas desmontadas.*

5.2.4. Tren alternativo

Para desmontar el tren alternativo resulta más cómodo voltear el motor con el soporte giratorio. Cuando se trata de un motor con camisas húmedas, a fin de que no se caigan durante esta operación, hay que instalar unas bridas de sujeción. Se pueden emplear dos rectángulos de contrachapado, como muestra la Figura 5.26, de fabricación manual ya que para este efecto sirven y se realizan de forma rápida y sencilla.

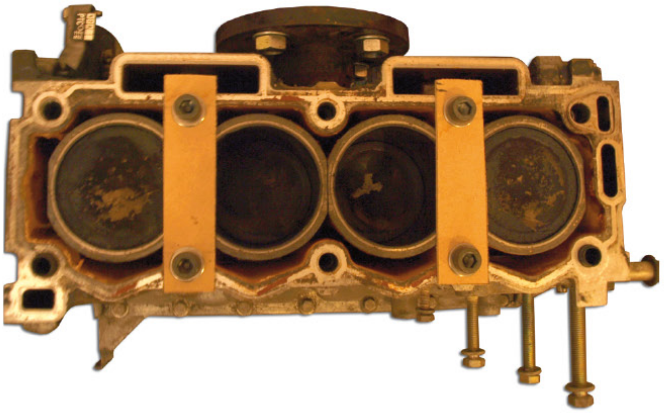


Figura 5.26. *Bridas de sujeción de las camisas.*

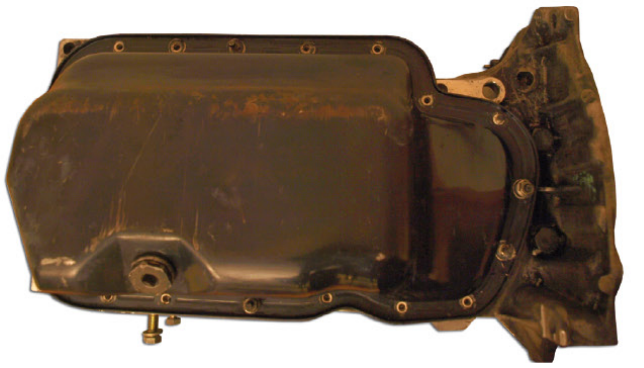


Figura 5.27. *Desmontaje del cárter.*

Posteriormente se gira el motor y se quitan los tornillos que sujetan el cárter retirando después este, según la Figura 5.27. Debido a la junta, puede ocurrir que el cárter se quede pegado a la bancada. En tal caso golpear ligeramente con un martillo de nailon perimetralmente hasta que se despegue.

Retirado el cárter queda a la vista la bancada y la bomba de aceite, como puede apreciarse en la Figura 5.28. Lo primero que hay que hacer es desacoplar la bomba de aceite, aflojando los tornillos que la unen a la bancada y después inclinando la corona para sacar la cadena por uno de sus extremos.

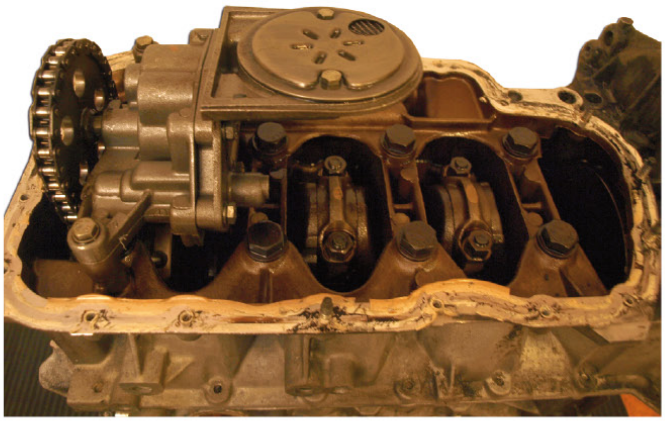


Figura 5.28. *Bomba de aceite.*

Una vez quitada la bomba se pueden empezar a aflojar los tornillos de la bancada. La Figura 5.29 muestra los tornillos principales, que han de aflojarse siguiendo los mismos criterios que para los de la culata: primero según lo prescrito por el fabricante o si no, como norma general, en cruz y de fuera hacia adentro. Es recomendable, antes de desmontar la bancada, aflojar los tornillos de las tapas o sombreretes de cabeza de biela, mientras el conjunto está sujeto rígidamente.

© Ediciones Paraninfo

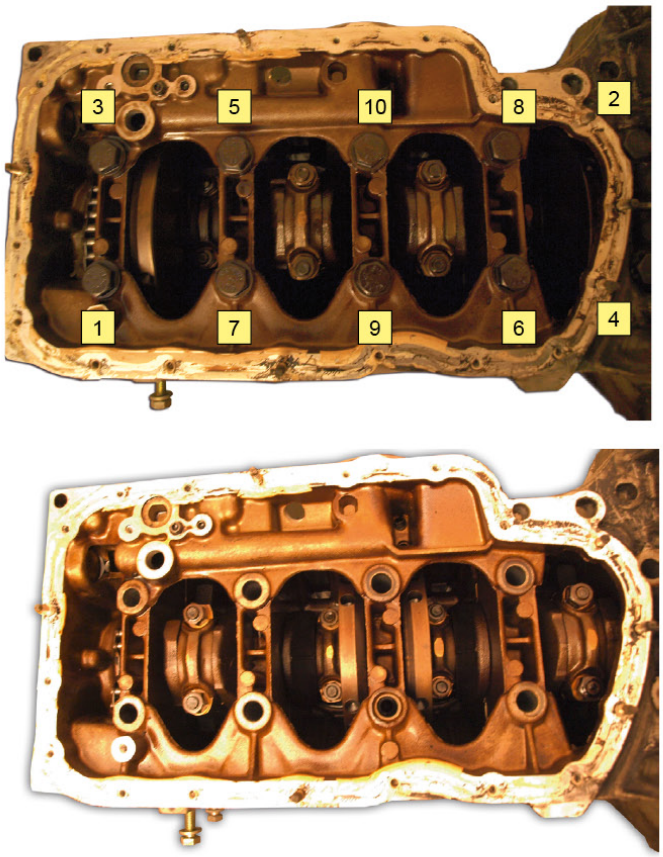


Figura 5.29. *Aflojado de los tornillos principales de la bancada.*

También hay que quitar los tornillos perimetrales de fijación de la bancada al bloque, que pueden verse en la Figura 5.30.

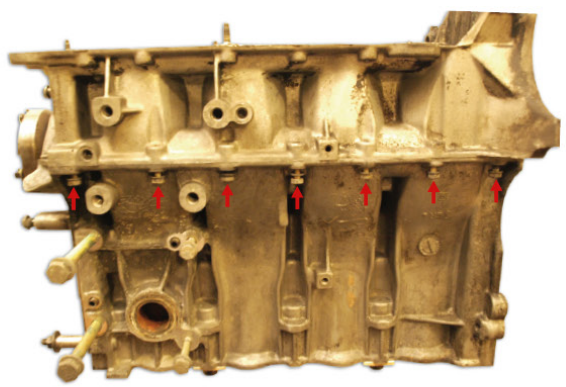


Figura 5.30. *Aflojado de los tornillos perimetrales de la bancada.*

Ahora se puede retirar la bancada, mostrada en la Figura 5.31, con cuidado de no dejar caer los semicojinetes de los apoyos del cigüeñal ni los semicojinetes axiales.

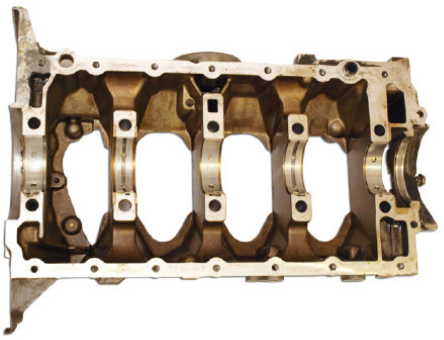


Figura 5.31. *Bancada con los semicojinetes de los apoyos del cigüeñal.*

En este momento se puede retirar, ya que se había aflojado previamente, el piñón del cigüeñal con su separador, los retenes de aceite del cigüeñal y las tapas de cabeza de biela, quedando la parte inferior del motor como muestra la Figura 5.32.

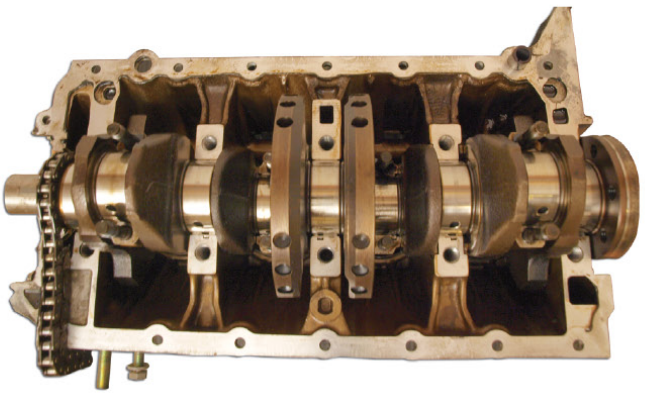


Figura 5.32. *Parte inferior del motor una vez retirados el piñón del cigüeñal, los retenes de aceite y las tapas de cabeza de biela.*

Las tapas de cabeza de biela deben estar bien identificadas, así como sus semicojinetes, de forma que cada tapa y cojinete correspondan a su biela y su orientación sea la adecuada, de la forma indicada en la Figura 5.33.

Figura 5.33. *Orientación de las tapas de cabeza de biela.*

Con todos estos elementos retirados se puede extraer el cigüeñal, mostrado en la Figura 5.34, teniendo cuidado de

© Ediciones Paraninfo

no dejar caer los semicojinetes de los apoyos, ni los de biela ni los cojinetes axiales que quedan.

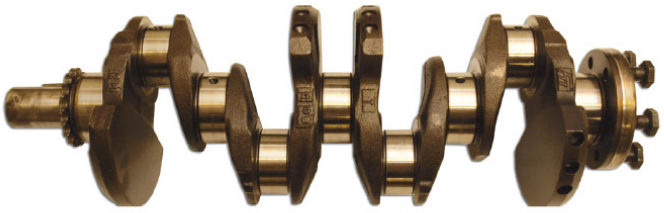


Figura 5.34. *Cigüeñal.*

En la Figura 5.35 se puede apreciar cómo queda la parte inferior del motor una vez retirado el cigüeñal.

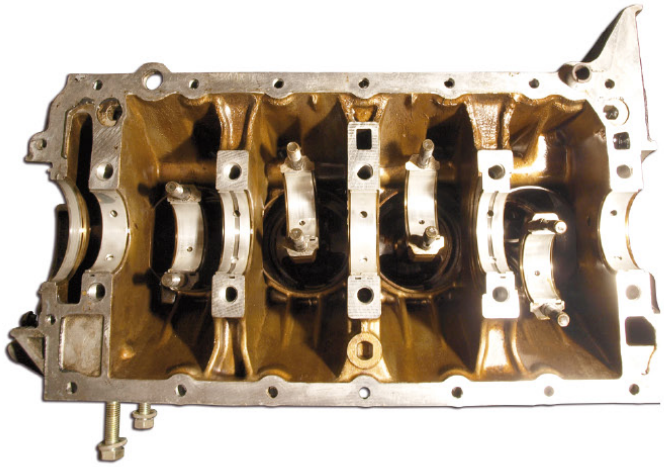


Figura 5.35. *Parte inferior del motor con el cigüeñal quitado.*

Los pistones se retiran unidos a la biela por la parte superior del bloque, según la Figura 5.36, marcando su posición y orientación, como muestra la Figura 5.37.

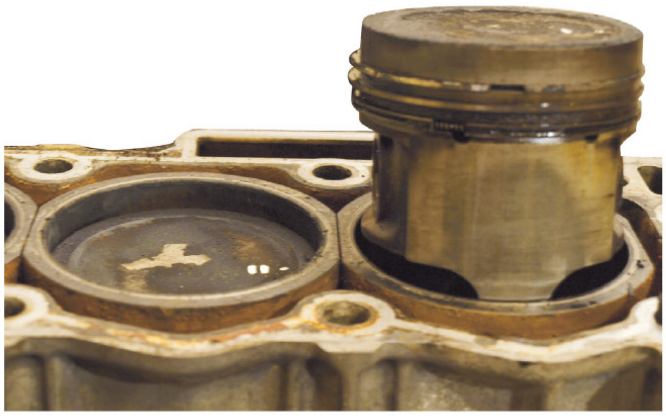


Figura 5.36. *Extracción del conjunto pistón y biela.*

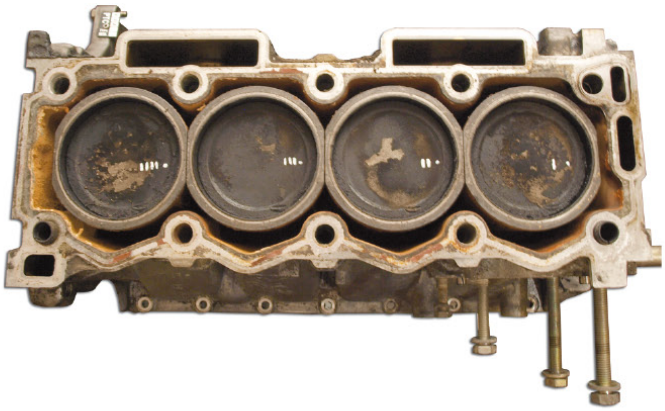


Figura 5.37. *Marcado de la posición y orientación de los pistones.*

Los cuatro conjuntos de pistón y biela son los mostrados en la Figura 5.38.

Figura 5.38. *Total de conjuntos de pistón y biela.*

Para quitar los segmentos del pistón se utiliza un expansor de segmentos, como el de la Figura 5.39.

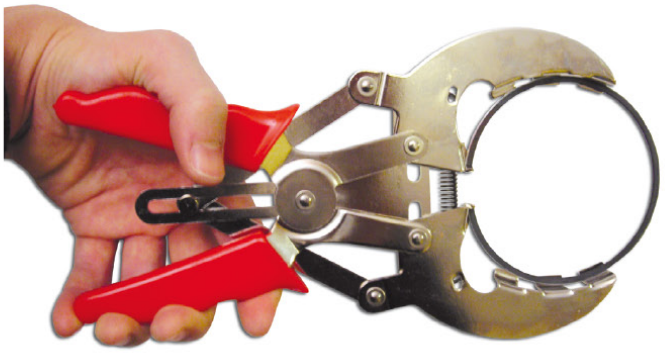


Figura 5.39. *Expansor de segmentos.*

Para desmontar el bulón que une el pistón con la biela es necesario, en el caso de bulón fijo a biela o bulón fijo a

© Ediciones Paraninfo

pistón, calentar el pistón en un baño de aceite (entre 60 y 70 °C), con el fin de dilatar el pistón, o bien utilizar un caballete de prensado de bulón a temperatura ambiente, como muestra la Figura 5.40. Para el montaje se procede al revés y lo que hay que dilatar es el pie de biela, pudiéndose hacer empleando una placa calefactora y utilizando un trozo de estaño como indicador de temperatura idónea, una vez este se haya fundido.

5.2.5. Bloque de cilindros

El bloque queda ahora desprovisto de todos los elementos que van unidos a él, como puede verse en la Figura 5.41, a falta de los cilindros. En el caso de cilindros con camisas húmedas, estas se extraen directamente por la parte superior del bloque. Para los cilindros con camisas secas, es necesario utilizar un extractor especial, como el mostrado en la Figura 5.42.

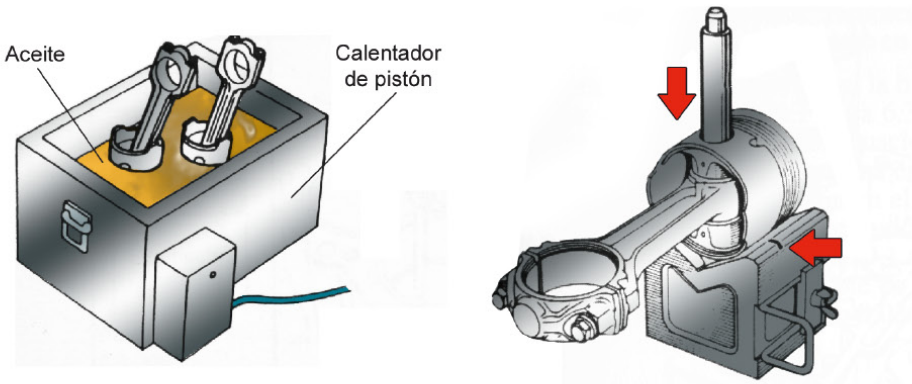


Figura 5.40. *Extracción del bulón para separar la biela del pistón.*

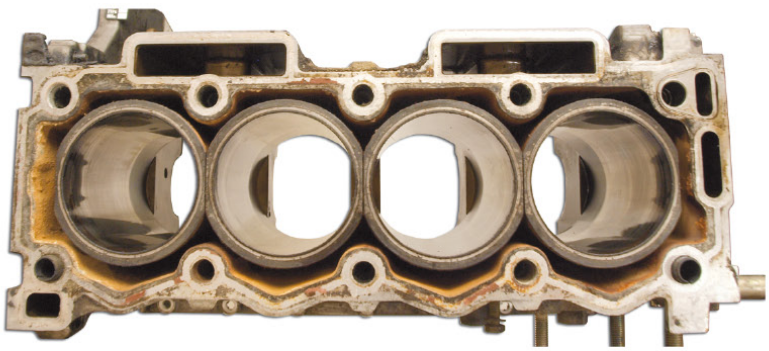


Figura 5.41. *Bloque de cilindros.*

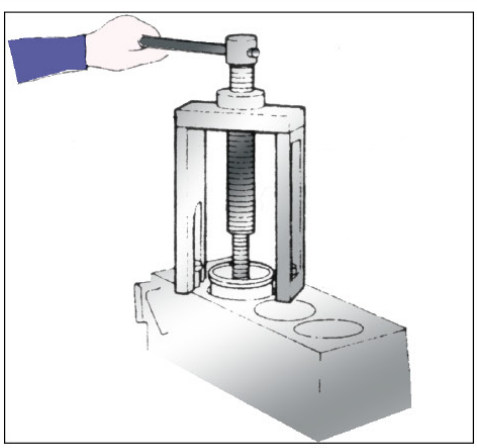


Figura 5.42. *Extractor para camisas secas.*

© Ediciones Paraninfo

5.3. Verificación

5.3.1. Mando de la distribución

La operación más importante en el mando de la distribución se da en el proceso de montaje, a la hora de realizar el calado o puesta a punto. No obstante, en el proceso de desmontaje y con las piezas retiradas del motor se puede inspeccionar visualmente si existen grietas, desgastes irregulares, etc., en la correa o cadena de distribución, como muestra la Figura 5.43. Normalmente si el mando es por correa, esta se sustituye al volver a montar el motor, pero sus marcas de desgaste pueden orientar a la hora de detectar una desalineación de las poleas, una tensión inadecuada de la misma o su exposición a una atmósfera inadecuada como aceite, combustible… por fugas o deterioro del cárter de distribución. En al caso de mando por cadena hay que comprobar que no haya grietas ni excesivo desgaste en las articulaciones.

Figura 5.43. *Comprobación visual de la correa o cadena de distribución.*

En el caso de motores con mando de distribución por engranajes deberá comprobarse que no existen rayaduras o desgaste excesivo entre las ruedas dentadas, así como el juego de montaje, mediante un comparador o un alambre calibrado, según la Figura 5.44, verificando las medidas con las especificaciones del fabricante. Si las medidas están fuera de las tolerancias prescritas habrá que sustituir el engranaje y la chaveta.

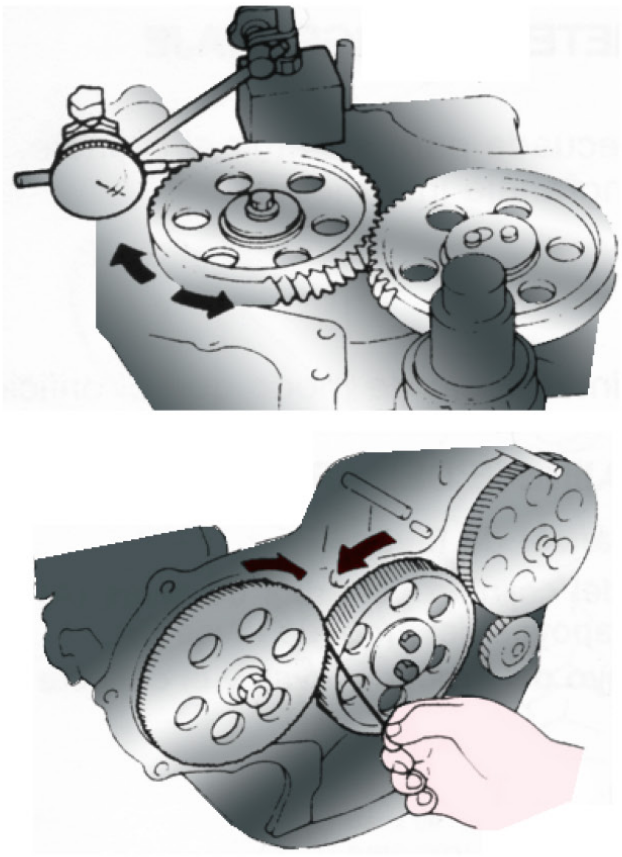


Figura 5.44. *Comprobación del juego del tren de engranajes mediante un comparador o con un alambre calibrado.*

5.3.2. Culata

Lo primero que hay que hacer antes de proceder a la verificación de cualquier parte del motor es limpiar las piezas. En el caso de la culata, hay que eliminar los restos de junta con algún líquido decapante y raspando suavemente con una espátula para quitar restos difíciles, teniendo mucho cuidado de no rayar las superficies del plano de junta. También se han de eliminar los restos de carbonilla de las cámaras de combustión con un cepillo de púas blando teniendo la precaución de no tocar las superficies de apoyo de la junta de culata y con las válvulas puestas para no tocar sus asientos. La Figura 5.45 muestra el proceso de limpieza de la culata.

© Ediciones Paraninfo

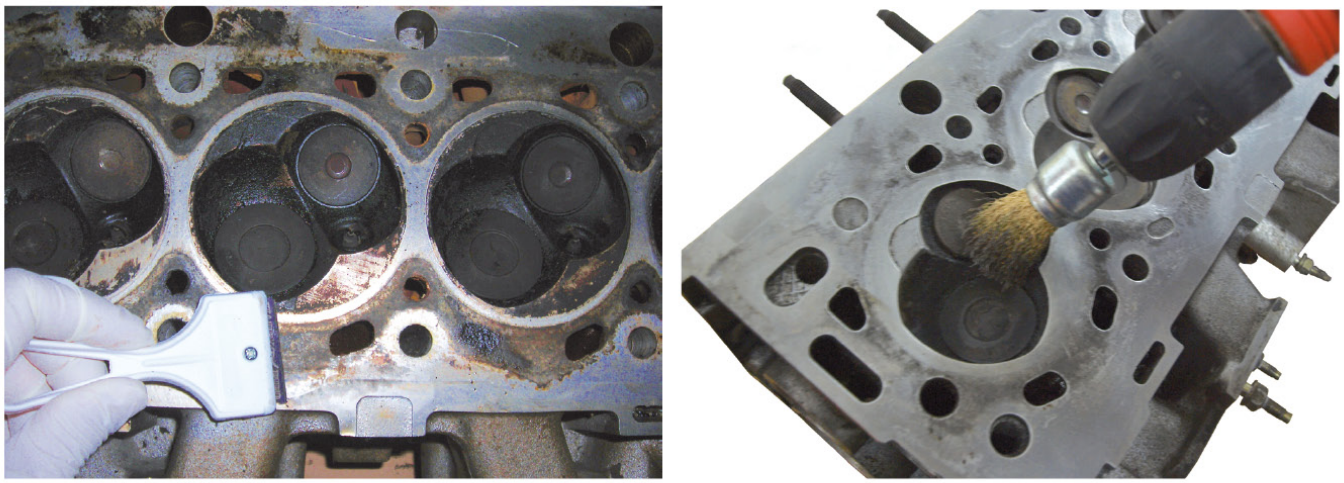


Figura 5.45. *Limpieza de la culata.*

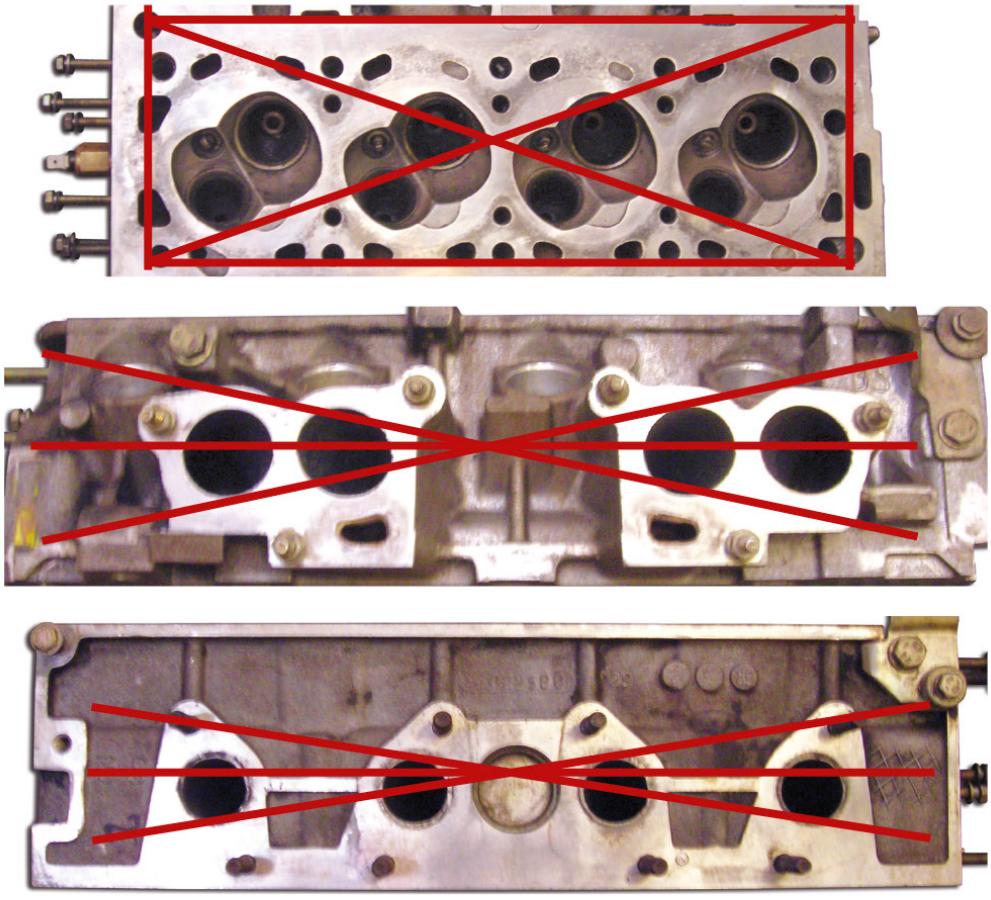


Figura 5.46. *Diferentes planos y direcciones de comprobación de los planos de junta de la culata.*

Una vez limpia la culata se puede empezar la verificación. Lo primero es hacer una revisión visual para comprobar si existen grietas o fisuras y si los hilos de rosca de bujías, inyectores, calentadores… están en buen estado. Si existiera alguna rosca defectuosa habría que proceder a su reparación, que en función del daño puede ir desde un repaso con el macho correspondiente a la instalación de un helicoil.

© Ediciones Paraninfo

Posteriormente hay que comprobar la deformación de los planos de junta, tanto del lado del bloque como de los colectores, en diferentes direcciones, tanto longitudinales, transversales y diagonales, como muestra la Figura 5.46, o bien en las direcciones y puntos marcados por el fabricante.

La medida de la deformación se realiza con una regla de planitud y un juego de galgas de espesores, según la Figura 5.47. Hay que colocar la regla en todas las direcciones mostradas en la Figura 5.46 y situar la galga de máximo desgaste admitido por el fabricante entre la culata y la regla, con cuidado de no forzar su introducción. Si la luz entre la regla y el plano de junta es mayor al prescrito, habrá que proceder a su rectificado. Normalmente, el valor límite para la superficie en contacto con la junta de culata es de 0,05 mm, siendo algo más permisivo el lado de los colectores, cuyo valor límite suele ser de 0,1 mm. En cualquier caso hay que consultar el manual del fabricante.

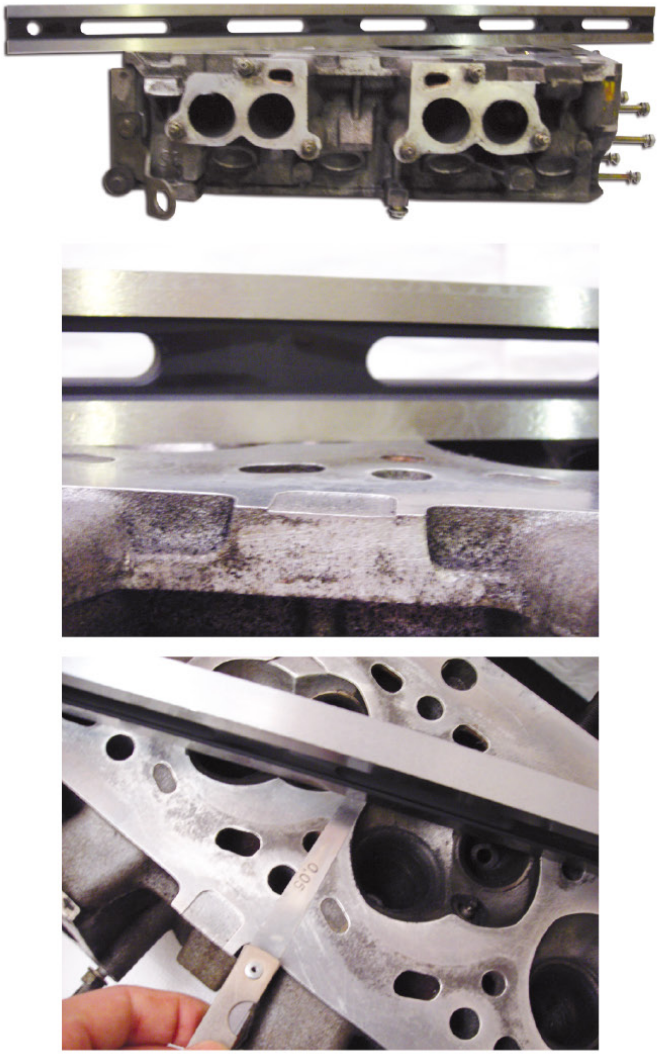


Figura 5.47. *Medición de la deformación de los planos de junta de la culata.*

Si hay que rectificar la culata se hará eliminando el mínimo material posible, pudiéndose dar el caso de tener un nivel de deformación tal que no sea posible la rectificación y haya que sustituir la culata directamente. Hay culatas especiales que no permiten reparación y en ese caso se admite un nivel máximo de deformación prescrito por el fabricante que, una vez superado, implica la sustitución de la culata.

El rectificado supone una reducción del volumen de la cámara de combustión y esto, como es sabido, aumenta la relación de compresión, pudiendo favorecer la detonación de la mezcla al alcanzarse mayores presiones y temperaturas al final de la compresión, sobre todo en motores Otto. Para evitar esto, normalmente se suele compensar la medida del rectificado con una junta de culata de mayor espesor, justo la altura rebajada de la culata tras su rectificación.

Cuando se rectifica una culata, hay riesgo de que las válvulas toquen la cabeza del pistón, para ello hay que rebajar sus asientos en la misma medida que se ha rebajado la culata, conservando la altura mínima especificada entre el plato de válvula y el plano de junta, como muestra la Figura 5.48. En el caso de los motores diésel de inyección indirecta, además habrá que comprobar la altura de las precámaras y corregirla con arandelas calibradas.

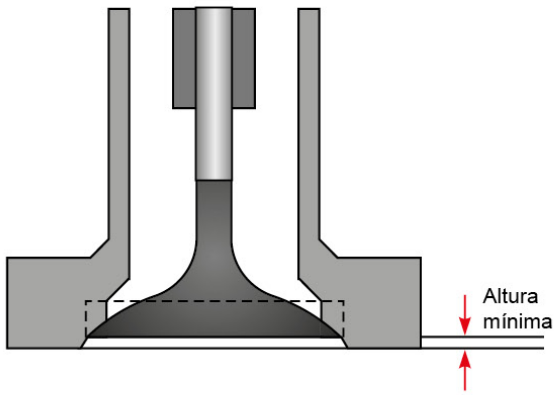


Figura 5.48. *Altura mínima especificada entre el plato de válvula y el plano de junta culata.*

5.3.3. Elementos de la distribución

Al igual que en el caso anterior, antes de comprobar los elementos de la distribución se procede a su limpieza. Los elementos más susceptibles de acumular carbonilla son las válvulas. Para limpiar las válvulas se puede emplear un cepillo de púas blando con la precaución de no tocar las superficies de contacto con el asiento ni con la guía de válvula. La Figura 5.49 muestra una válvula con carbonilla, el proceso de limpieza y el resultado final.

© Ediciones Paraninfo

Figura 5.49. *Proceso de limpieza de una válvula.*

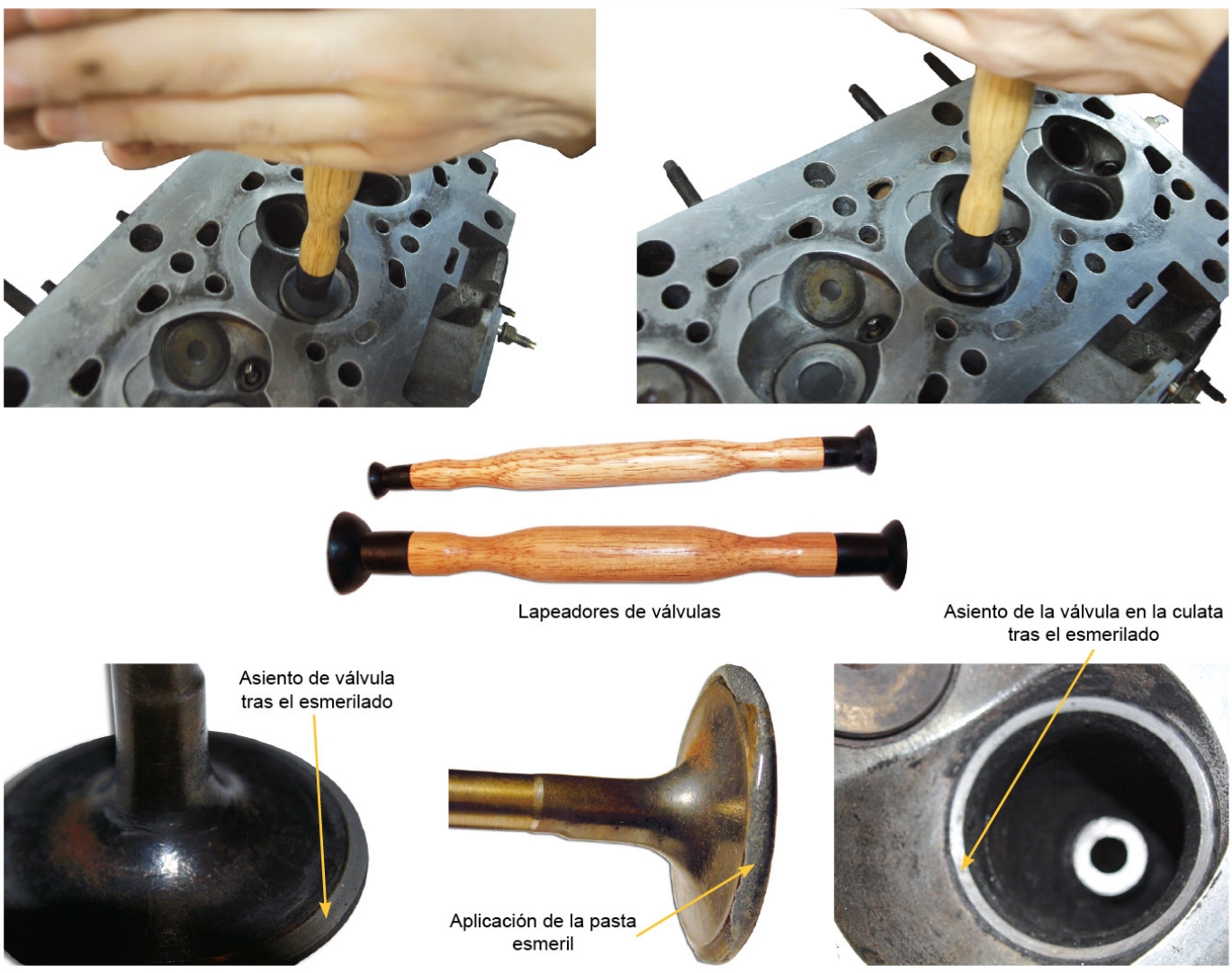


Figura 5.50. *Esmerilado de válvulas.*

© Ediciones Paraninfo

Figura 5.51. *Medición de las válvulas.*

Recuerda que...

En el esmerilado de válvulas hay que tomar las siguientes precauciones:

- Se debe lubricar la cola de la válvula para que no sufra daños en el proceso.
- Hay algún tipo de pasta esmeril que es necesario mezclarla con aceite o agua.
- Al acabar la operación hay que limpiar muy bien los restos de pasta, ya que contiene productos abrasivos que podrían dañar el motor.

Para limpiar el asiento de la válvula se realiza el esmerilado. El esmerilado se lleva a cabo cuando se desea asegurar un buen contacto entre la válvula y su asiento tras un kilometraje elevado del motor, siempre y cuando se esté seguro de que no es necesario rectificar. El proceso de esmerilado, mostrado en la Figura 5.50, consiste en impregnar con pasta esmeril la superficie del asiento de válvula y frotar cada válvula con su asiento para pulir las superficies. La válvula se gira con ayuda de una ventosa o lapeador de válvulas y tras haber girado en un sentido y en otro la válvula varias veces, esta se levanta y se gira 90°. Para comprobar si se ha realizado bien la operación se mira que las superficies tengan un acabado homogéneo.

Una vez limpias las válvulas, se puede proceder a su comprobación. Para ello se mide el diámetro de la cabeza de la válvula, el diámetro de la cola y su longitud con un micrómetro y un calibre, como muestra la Figura 5.51.

Las medidas se anotan en la Tabla 5.1 y se comparan con las especificaciones del fabricante.

La medida del diámetro de la cola de válvula hay que hacerla tomando dos diámetros perpendiculares y a diferentes alturas. En la tabla, para simplificar los datos, se han anotado las medidas más críticas o cercanas a los valores límite del fabricante, que suele admitir un desgaste de no más de 0,015 mm.

Otra comprobación importante es la holgura entre la cola y la guía de válvula en la dirección perpendicular al árbol de levas, que es la que suele tener más desgaste. Para comprobar la holgura se coloca un reloj comparador perpendicularmente al eje de la válvula, según la Figura 5.52, con el palpador tocando el plato de la válvula. Posteriormente se lleva la válvula a un extremo en la dirección

TABLA 5.1

Medida de cotas de válvulas	Diámetro cabeza [mm]		Diámetro cola [mm]		Longitud [mm]	
	Admisión	Escape	Admisión	Escape	Admisión	Escape
Fabricante	36,7	29,2	6,98	6,96	112,76	112,56
Cilindro 1	36,75	29,28	6,98	6,96	112,75	112,55
Cilindro 2	36,78	29,29	6,98	6,95	112,75	112,55
Cilindro 3	36,69	29,26	6,98	6,95	112,75	112,55
Cilindro 4	36,72	29,24	6,98	6,95	112,80	112,55

© Ediciones Paraninfo

perpendicular al árbol de levas, se pone el comparador a cero y se mueve la válvula hacia el otro extremo.

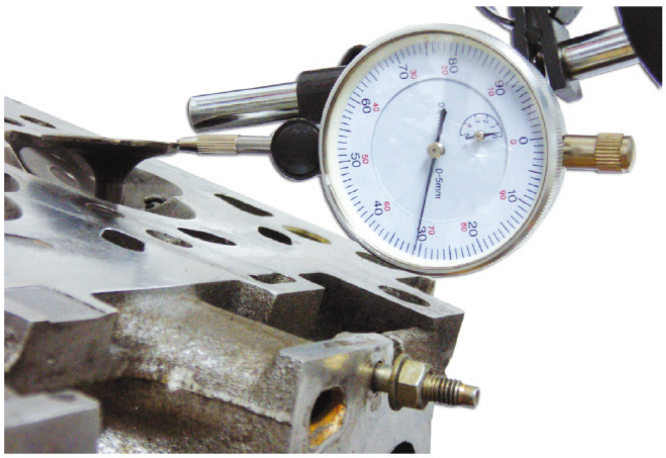


Figura 5.52. *Medición de la holgura entre la cola y la guía de válvula.*

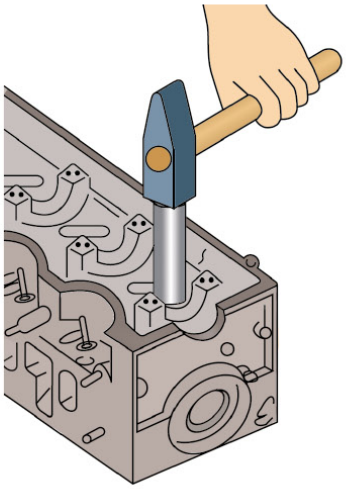


Figura 5.53. *Extracción de la guía de válvula.*

Se anotan las medidas y se comprueban con las del fabricante o bien que no superen los 0,10-0,15 mm. La Tabla 5.2 muestra los valores obtenidos.

TABLA 5.2

	Holgura cola-guía de válvula [mm]	
	Admisión	Escape
Cilindro 1	0,17	0,16
Cilindro 2	0,15	0,17
Cilindro 3	0,17	0,17
Cilindro 4	0,18	0,16

En función de los resultados obtenidos en la medición de las cotas de válvula y de la holgura entre cola y guía puede ser necesario sustituir las válvulas, las guías o ambas.

Para sustituir las guías de válvulas primero hay que extraerlas mediante el uso de un botador como muestra la Figura 5.53 o con un extractor específico, ya que su montaje en la culata es un ajuste con apriete, es decir, el diámetro de la guía es mayor que el de su alojamiento.

Para montar la guía nueva normalmente se utiliza una prensa hidráulica, ya que los golpes podrían causar daños en la misma, o bien se calienta la culata en un baño de aceite a más de 90 °C para dilatar el alojamiento y luego se inserta. Este procedimiento se emplea a veces para el desmontaje también y a veces para extraer y montar los asientos de válvula. En el montaje de la guía de válvula es muy importante respetar la altura (*L*) prescrita. Después se realiza un escariado de la guía para conseguir el diámetro nominal preciso. Todo este proceso se indica en la Figura 5.54.

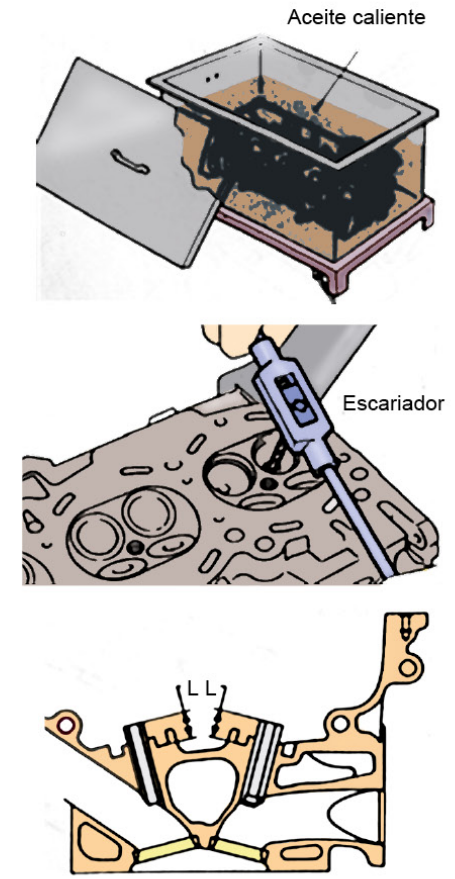


Figura 5.54. *Proceso de montaje de la guía de válvula.*

Cuando los asientos de las válvulas se han deteriorado, presentando picaduras en su superficie de contacto, se puede proceder a su rectificado empleando fresas con el

© Ediciones Paraninfo

ángulo de asiento indicado, que normalmente es de 45°. Si el asiento está muy desgastado se reemplaza directamente, pero habrá que rectificarlo igualmente para que quede centrado con la guía de válvula y para corregir su anchura y altura. Para ello, siguiendo la Figura 5.55, se monta la fresa en un soporte que por un lado permite ser girado por la mano o por un motor eléctrico y por otro tiene un centrador que permite alinear la guía de válvula con el asiento. Si el rectificado se hace manualmente se emplearán las dos manos para dar uniformidad al corte. Para conseguir una anchura del asiento de válvula determinada por el fabricante se utilizan posteriormente dos fresas cuyos ángulos son normalmente de 20° y de 75°, de la misma forma que se empleó la de 45°.

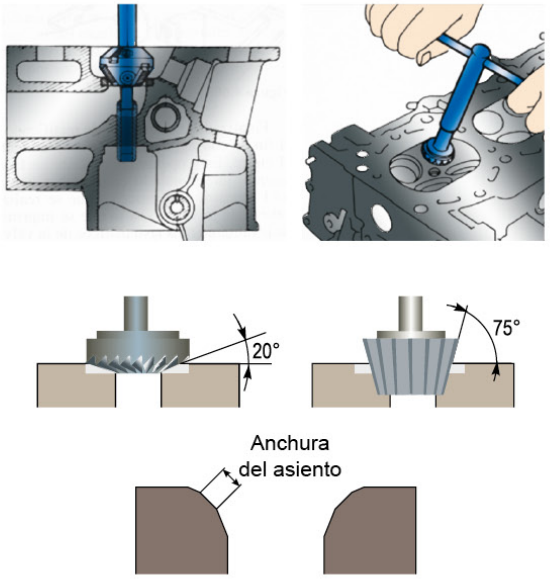


Figura 5.55. *Rectificado del asiento de válvula.*

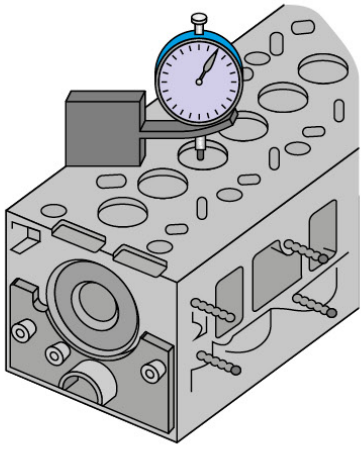


Figura 5.56. *Medida de la altura entre válvula y plano de junta de culata en un motor diésel.*

Si el ajuste entre asiento y válvula no es correcto se puede rectificar la válvula en motores en los que esta situación está prevista, ya que la mayoría de los fabricantes desaconsejan esta práctica y recomiendan la sustitución de la válvula. Por este motivo esta operación está casi en desuso.

Tras la rectificación del asiento es necesario su esmerilado, que se realiza de la forma descrita anteriormente.

En los motores diésel es un parámetro crítico la altura de la válvula con respecto al plano de junta de la culata para no variar el volumen de la cámara de combustión. La altura se puede medir con un reloj comparador, como muestra la Figura 5.56, y su valor debe estar comprendido entre 0,1 y 0,5 mm.

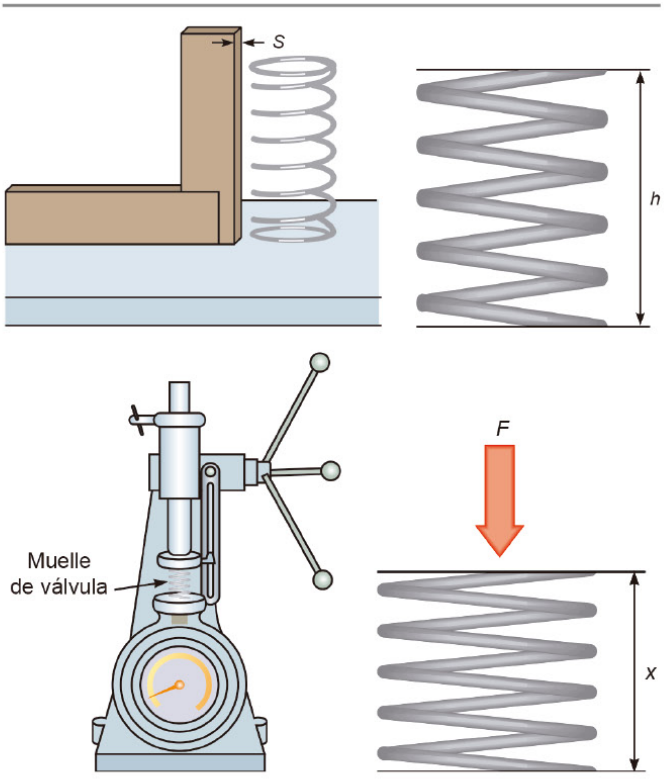


Figura 5.57. *Comprobación del muelle de válvula.*

Otro elemento a comprobar es el muelle de válvula. La Figura 5.57 muestra el proceso de verificación de un muelle de válvula, donde se observa su cuadratura (*S*) con una escuadra, que si excede de un valor límite hay que sustituirlo por uno nuevo. También se puede medir su altura libre de carga (*h*) y con carga a través de un comprobador de muelles de válvula, que consiste en un dinamómetro que aplica una fuerza de compresión (*F*) al muelle a la cual se le asocia una determinada deformación (*x*).

Hay que verificar también el estado de los elementos intermedios del sistema de distribución, tales como los taqués,

© Ediciones Paraninfo

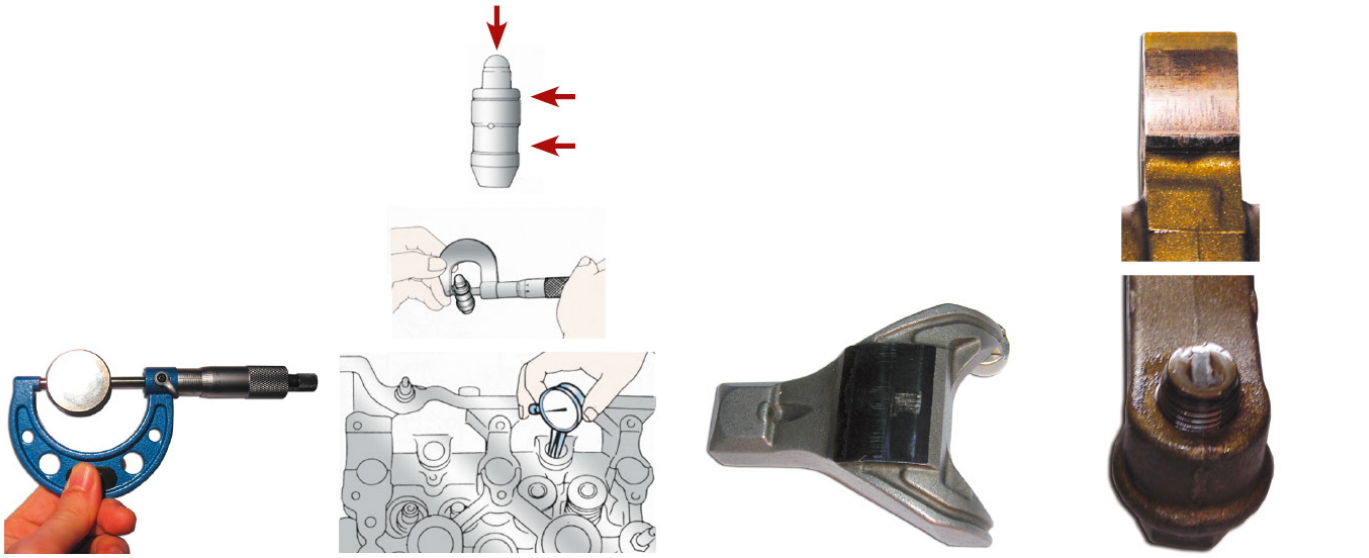


Figura 5.58. *Algunas comprobaciones sobre los elementos intermedios del sistema de distribución.*

taqués hidráulicos, compensadores de juego hidráulicos y balancines, ya que si presentan excesivo desgaste pueden generar ruidos durante el funcionamiento del motor y hacer que se pierda precisión en el diagrama de distribución.

Aunque la comprobación y ajuste final de muchos de estos elementos se realiza en la fase de montaje, se puede hacer alguna inspección con las piezas desmontadas.

Para comprobar los taqués, taqués hidráulicos y compensadores de juego hidráulicos hay que medir su diámetro exterior, el diámetro del alojamiento y calcular el juego de montaje, comparando todas estas medidas con los valores del fabricante. Además se hará una inspección visual de las superficies de contacto y deslizamiento, observando si presentan desgaste o arañazos. En la Figura 5.58 se pueden ver algunas comprobaciones sobre los elementos intermedios del sistema de distribución.

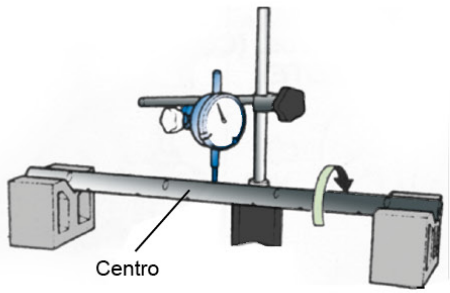


Figura 5.59. *Medición de la deformación del eje de balancines.*

En los motores que montan eje de balancines hay que comprobar que no hay un juego excesivo entre este y el balancín. Además el eje no debe presentar marcas de desgaste y puede medirse su deformación en el centro con un reloj comparador, como puede verse en la Figura 5.59, que no debe superar el límite especificado.

El árbol de levas es un elemento importante que hay que verificar. Lo primero es hacer una inspección visual de las superficies de las levas y de los apoyos, que no deben presentar signos de desgaste excesivo, como puede verse en la Figura 5.60.

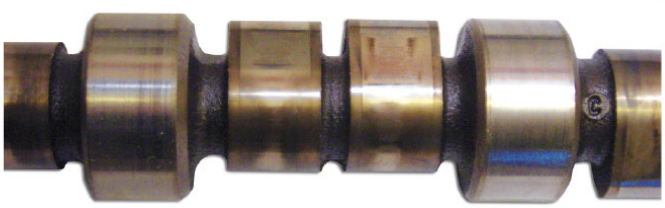


Figura 5.60. *Inspección visual de las superficies de las levas y de los apoyos del árbol de levas.*

A continuación se comprueba la excentricidad del árbol de levas colocando este sobre dos soportes en V, que a su vez se apoyan en un mármol de metrología. Después se sitúa un reloj comparador sobre su apoyo central, como muestra la Figura 5.61. Se hace girar el árbol de levas y se observa que la aguja del reloj no marque diferencias superiores a 0,10-0,15 mm en una vuelta completa. En el caso

© Ediciones Paraninfo

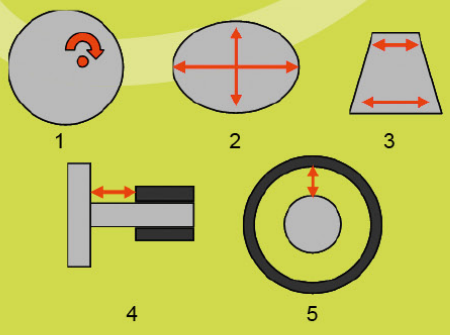
del motor de referencia, la medida de la excentricidad en el apoyo central es de 0,12 mm.

Figura 5.61. *Medida de la excentricidad del árbol de levas.*

Recuerda que...

Las medidas básicas que se hacen sobre los elementos de un motor son las siguientes:

- **Excentricidad (1):** cuando debido al desgaste, los puntos de la superficie exterior de un elemento circular no están a la misma distancia del centro o eje de giro.
- **Ovalamiento (2):** si un elemento circular tiene diámetros perpendiculares de diferente longitud. Puede medirse con 2 diámetros perpendiculares o con 3 separados un mismo ángulo.
- **Conicidad (3):** implica que un elemento cilíndrico tiene diferentes diámetros en sus extremos.
- **Juego axial (4):** es el espacio entre tope y tope de un elemento que se puede desplazar en la dirección de su eje.
- **Juego de montaje (5):** es la distancia entre dos piezas donde una (eje) se instala dentro de otra (agujero).



Se puede comprobar también el alzado de las levas de admisión y de escape de una forma similar a la excentricidad del árbol de levas o con un micrómetro. Utilizando unos bloques en V, se sitúa el palpador del comparador sobre la leva y en la parte circular de la misma se pone el reloj a cero. Se gira el árbol de levas y justo cuando la aguja empiece a cambiar el sentido de giro marcará la alzada máxima de la leva. Empleando un micrómetro se mide directamente la alzada máxima de cada leva. La Figura 5.62 muestra cómo llevar a cabo esta medida con los dos procedimientos.

Figura 5.62. *Medición de la alzada de las levas con comparador o con micrómetro.*

Se ha de comprobar que la alzada de las levas corresponde a los valores prescritos por el fabricante y que no supera el límite de desgaste con respecto a la medida original, que suele ser de unos 0,20 mm. Tampoco deben existir grandes diferencias entre todas las levas de admisión y todas las de escape.

Es importante comprobar el diámetro de los apoyos del árbol de levas, el diámetro de los cojinetes del mismo y, como consecuencia directa de lo anterior, el juego de montaje.

© Ediciones Paraninfo

Recuerda que...

Normalmente, para comprobar diámetros de ejes, diámetros de agujeros y juegos de montaje, el fabricante ofrece el diámetro nominal del conjunto eje-agujero, por ejemplo 37 mm.

Posteriormente, como en el caso del árbol de levas y sus correspondientes cojinetes se pueden encontrar las siguientes medidas:

- Diámetro del eje del árbol de levas: $37^{-0,050}_{-0,075}$. Esto significa que el diámetro del árbol de levas está comprendido entre 36,925 y 36,950 mm.
- Diámetro del apoyo del árbol de levas: $37^{0}_{-0,039}$. En este caso el diámetro del cojinete estará comprendido entre 36,961 y 37,000 mm.

Es fácil deducir que, como es evidente, siempre va a existir un ajuste con juego entre el árbol de levas y los cojinetes. En este caso, el juego mínimo será la resta del diámetro mínimo del agujero y máximo del eje, es decir, 36,961 – 36,950 = 0,011 mm. El juego máximo será el resultado de restar el diámetro máximo del agujero y mínimo del eje, 37,000 – 36,925 = 0,075 mm.

Estas medidas son las correspondientes a un motor nuevo, cuando se comprueba un motor rodado hay que verificar los juegos límite establecidos por el fabricante.

Para medir el diámetro de los apoyos se toma la medida de dos diámetros perpendiculares de los mismos, según la Figura 5.63, para calcular posteriormente su juego de montaje.

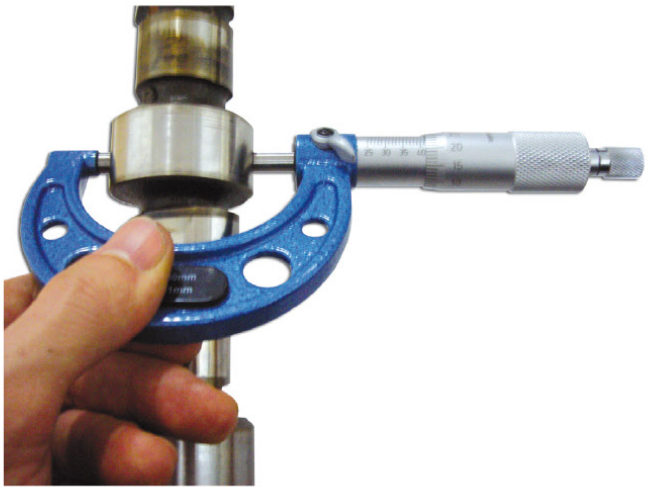
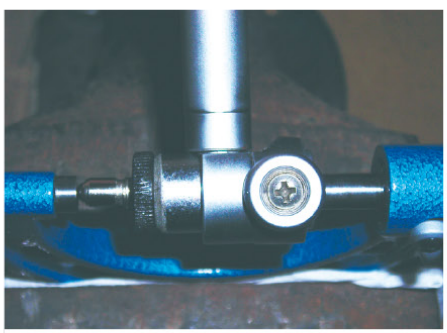


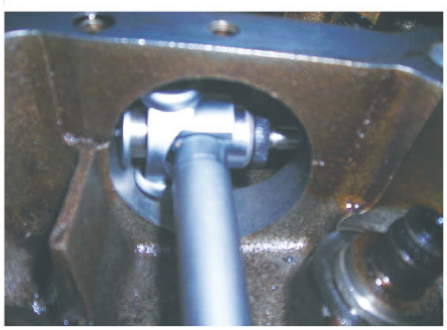
Figura 5.63. *Medida del diámetro de los apoyos del árbol de levas.*

Para calcular el diámetro de los cojinetes lo primero que hay que hacer es, si el motor lleva semicojinetes con tapa, montar todas las tapas y apretarlas a su par correspondiente. En el caso del motor de referencia, los cojinetes van mecanizados



Calibración del alexómetro con un micrómetro

Puesta a cero del comparador



Situar el comparador perpendicularmente a la superficie a medir

Observar la medida

Figura 5.64. *Proceso de medida de los cojinetes del árbol de levas.*

© Ediciones Paraninfo

TABLA 5.3

Apoyo	Diámetro nominal	Diámetro árbol de levas $^{-0,050}_{-0,075}$		Diámetro cojinete $^{0}_{+0,0039}$			Juego
		A	B	A	B	Ovalamiento	
1	37	36,95	36,95	37,04	37,04	0,00	0,09
2	40,7	40,64	40,64	40,75	40,76	0,01	0,12
3	41,3	41,23	41,23	41,35	41,34	0,01	0,12
4	41,9	41,85	41,85	41,95	41,95	0,00	0,10
5	42,5	42,44	42,44	42,53	42,53	0,00	0,09

directamente sobre la culata. Para hacer la medida se toma el diámetro nominal ofrecido por el fabricante y se sitúa en un micrómetro. Se fija el micrómetro a un tornillo de banco y se calibra el alexómetro a cero con esa medida. Después se toman dos diámetros perpendiculares en los cojinetes, teniendo en cuenta la posición correcta del alexómetro, cuyo palpador ha de estar situado perpendicularmente a la superficie de medida. Para ello se mueve el alexómetro en un sentido y en otro hasta encontrar el punto en que la aguja del reloj no cambia de sentido. En ese punto se anota la medida marcada. El diámetro medido será la suma del diámetro nominal más la medida del comparador desde el cero. El ovalamiento del cojinete es la diferencia entre los diámetros perpendiculares medidos y no debe ser superior a 0,05-0,10 mm. La Figura 5.64 muestra el proceso de medida de los cojinetes del árbol de levas.

Tomando las medidas de los diámetros de los apoyos del árbol de levas y de los diámetros de los cojinetes, se puede rellenar la Tabla 5.3, donde también aparecen los diámetros nominales del fabricante, estando todas las medidas expresadas en milímetros. Con las medidas realizadas se puede calcular el ovalamiento de los cojinetes, que no debe ser superior a 0,05-0,10 mm. Posteriormente, tomando el menor diámetro del apoyo del árbol de levas y el máximo del cojinete, se calcula el juego de montaje, que no debe superar los 0,10-0,15 mm.

Por último se comprueba el juego axial del árbol de levas, aunque para ello es necesario instalarlo en la culata pero sin el mando de la distribución. La medida se hace empleando un reloj comparador con el palpador en un extremo del árbol de levas y en la dirección de su eje. Se desplaza axialmente el árbol de levas hasta uno de sus extremos, poniendo el reloj a cero, y posteriormente se desplaza hacia el otro extremo, anotando la medida que indica la aguja. El desplazamiento máximo ha de estar entre 0,1 y 0,2 mm. En el caso del motor de referencia, el juego axial del árbol de levas es de 0,1 mm. La Figura 5.65 muestra cómo realizar esta comprobación.

5.3.4. Tren alternativo

A continuación se van a explicar las operaciones de verificación del tren alternativo, que está compuesto por el cigüeñal, las bielas, los pistones y resto de elementos como cojinetes, bulones y segmentos.

La comprobación del cigüeñal es similar a la del árbol de levas, atendiendo principalmente a las medidas de los diámetros de las muñequillas y de los apoyos, así como sus respectivos alojamientos.

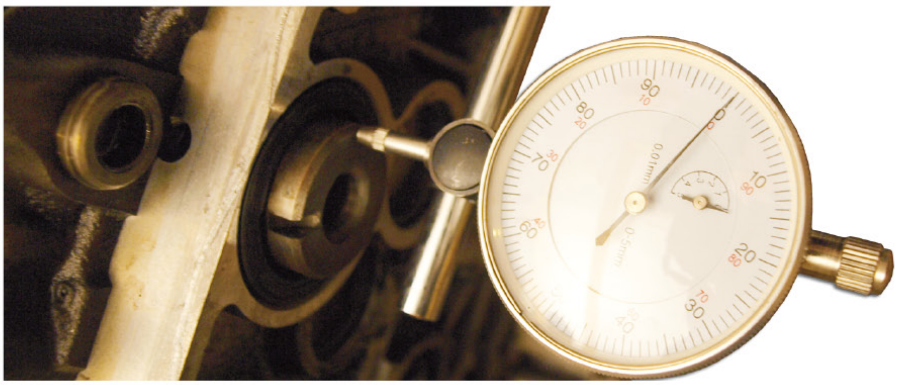


Figura 5.65. *Comprobación del juego axial del árbol de levas.*

© Ediciones Paraninfo

Lo primero que hay que medir es la excentricidad del apoyo central con la ayuda de un reloj comparador, según muestra la Figura 5.66. La diferencia máxima mostrada por el comparador no debe superar los 0,05 mm.

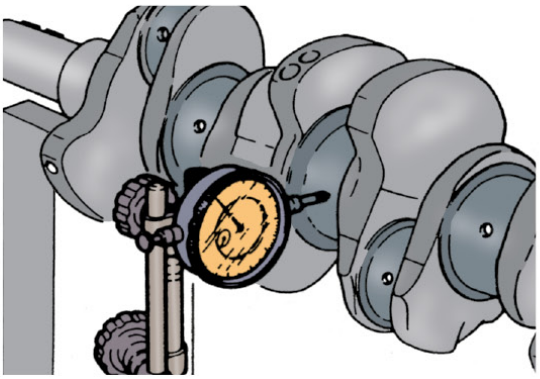
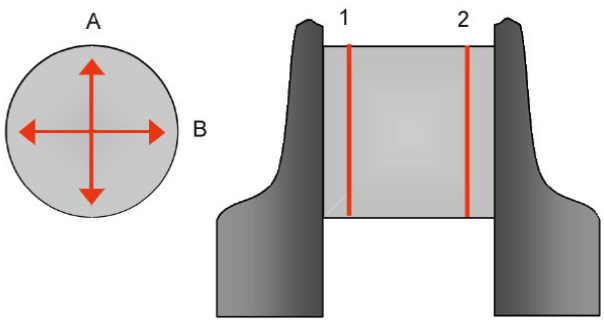


Figura 5.66. *Medida de la excentricidad del apoyo central del cigüeñal.*

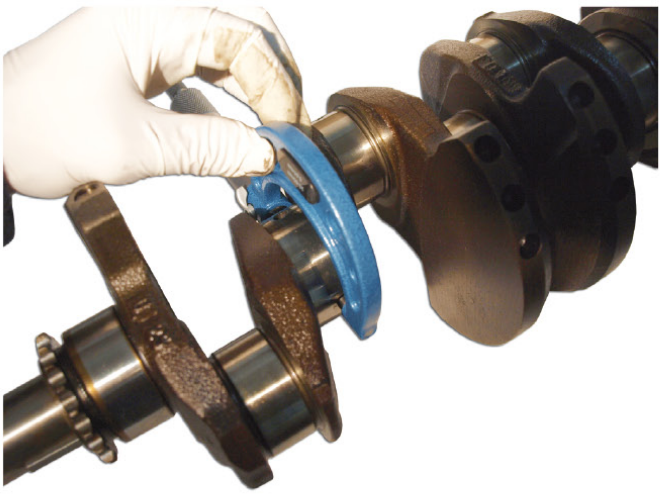
A continuación se miden los diámetros con un micrómetro, tanto de los apoyos como de las muñequillas tomando en cada uno de ellos dos diámetros perpendiculares (A y B) y en los extremos (1 y 2) de la superficie de contacto, como muestra la Figura 5.67.

Para realizar la medida de los cojinetes, se toma cada biela y se le monta su sombrerete apretado al par especificado, y lo mismo con los apoyos, que en el motor de referencia implica montar la bancada. Después, los ejes se miden con un micrómetro y los agujeros con un alexómetro. La Figura 5.68 muestra este proceso de medida.

Las medidas se anotan en las Tablas 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7, estando todas las unidades en milímetros, donde se calcula el ovalamiento y la conicidad de cada elemento, comparándolas con los valores límite del fabricante, que en el caso del motor de referencia no debe exceder los 0,007 mm. Si la apreciación de los aparatos de medida es de 0,01 mm, se tomará como valor límite 0,01 mm.



Esquema de las medidas a tomar



Medición de un apoyo (uno de los diámetros a una de las alturas)

Medición de una muñequilla (uno de los diámetros a una de las alturas)

Figura 5.67. *Medida de los diámetros de cada muñequilla y apoyo.*

© Ediciones Paraninfo

TABLA 5.4

Apoyo		1		2		3		4		5	
Extremo	Diámetro	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento
1	A	49,97	0,00	49,98	0,00	49,97	0,00	49,96	0,00	49,97	0,00
	B	49,97		49,98		49,97		49,96		49,97	
2	A	49,97	0,00	49,98	0,00	49,97	0,00	49,96	0,00	49,97	0,00
	B	49,97		49,98		49,97		49,96		49,97	
Conicidad A		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
Conicidad B		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	

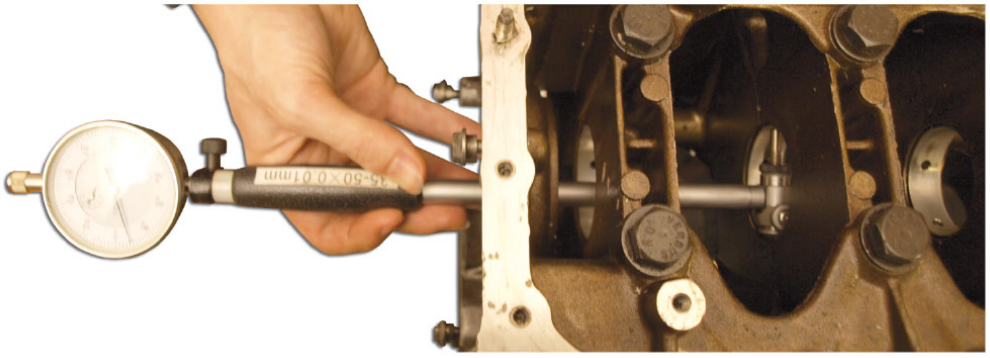
TABLA 5.5

Cojinete de apoyo		1		2		3		4		5	
Extremo	Diámetro	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento
1	A	49,99	0,00	50,01	0,00	49,99	0,00	49,99	0,00	50,00	0,00
	B	49,99		50,01		49,99		49,99		50,00	
2	A	49,99	0,00	50,01	0,00	49,99	0,00	49,99	0,00	50,00	0,00
	B	49,99		50,01		49,99		49,99		50,00	
Conicidad A		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
Conicidad B		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	

Apriete del sombrerete de biela al par especificado

Calibración del alexómetro

Realización de la medida en el cojinete de biela



Realización de la medida en el cojinete del apoyo, previamente apretado al par correspondiente

Figura 5.68. *Proceso de medida del diámetro de muñequillas y apoyos del cigüeñal.*

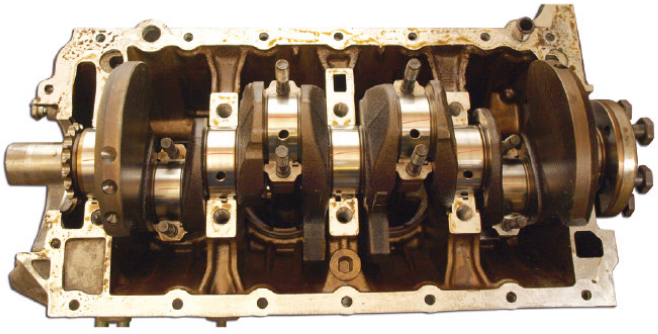
© Ediciones Paraninfo

TABLA 5.6

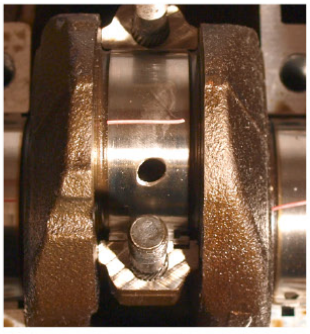
Muñequilla		1		2		3		4	
Extremo	Diámetro	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento
1	A	44,98	0,00	44,98	0,00	44,98	0,00	44,98	0,00
	B	44,98		44,98		44,98		44,98	
2	A	44,98	0,00	44,98	0,00	44,98	0,00	44,98	0,00
	B	44,98		44,98		44,98		44,98	
Conicidad A		0,00		0,00		0,00		0,00	
Conicidad B		0,00		0,00		0,00		0,00	

TABLA 5.7

Cojinete muñequilla		1		2		3		4	
Extremo	Diámetro	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento
1	A	45,02	0,00	45,03	0,00	45,02	0,00	45,02	0,00
	B	45,02		45,03		45,02		45,02	
2	A	45,02	0,00	45,03	0,00	45,02	0,00	45,02	0,00
	B	45,02		45,03		45,02		45,02	
Conicidad A		0,00		0,00		0,00		0,00	
Conicidad B		0,00		0,00		0,00		0,00	



Situación de un trozo de hilo calibrado en cada muñequilla y en cada apoyo



Detalle de hilo calibrado sobre una muñequilla

Escala de medida del juego tras el aplastamiento del hilo calibrado

Medición del juego entre un apoyo y su cojinete

Medición del juego entre una muñequilla y su cojinete

Figura 5.69. *Proceso de medida del juego de montaje con plastigage.*

© Ediciones Paraninfo

Ahora hay que calcular el juego existente entre las muñequillas y los apoyos con sus correspondientes cojinetes. Se puede hacer calculando los juegos máximos a partir de las medidas anteriores, como se hizo en el caso del árbol de levas, o bien empleando los hilos calibrados o plastigage. El juego de montaje no debe ser superior a 0,15 mm, con lo que un juego de plastigage que mida en el rango de 0,051 a 0,152 mm servirá. El empleo del plastigage da solo una idea de si el montaje está dentro de los límites de desgaste, no constituyendo una medida precisa. Para calcular el juego de montaje de esta forma hay que tomar un trozo de hilo y colocarlo longitudinalmente al eje del cigüeñal, en cada muñequilla y apoyo del mismo. Después se montan los sombreretes de biela y de los apoyos, apretados a su par correspondiente. Posteriormente se retiran y se compara el ancho del hilo aplastado con unas referencias que relacionan dicha anchura con un juego de montaje determinado. Cuando se emplea el hilo calibrado para medir juegos de montaje no ha de girarse el motor. La Figura 5.69 muestra la medida del juego de montaje con el empleo de hilo calibrado.

Los resultados de las medidas empleando el hilo calibrado sobre el motor de referencia son los que figuran en la Tabla 5.8 y Tabla 5.9.

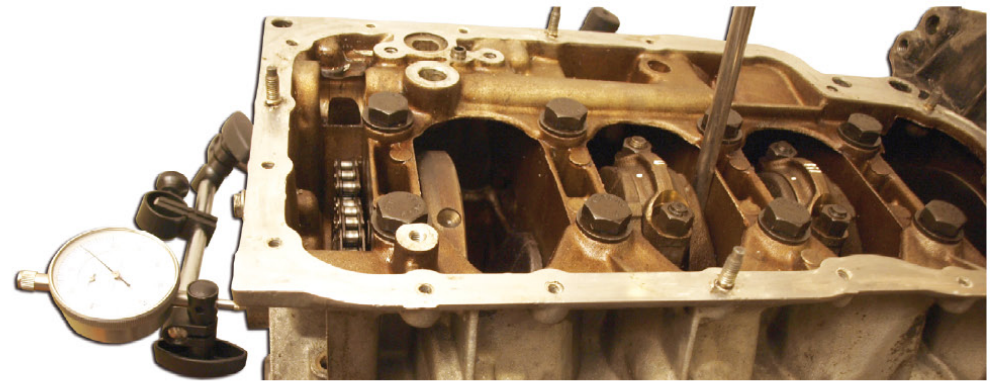
Es importante medir el juego axial del cigüeñal, ya que si excede de 0,30 mm hay que sustituir los cojinetes de empuje. Esta medida se realiza de la misma forma que con el árbol de levas, como muestra la Figura 5.70, donde puede verse que para el motor de referencia el juego axial es de

TABLA 5.8

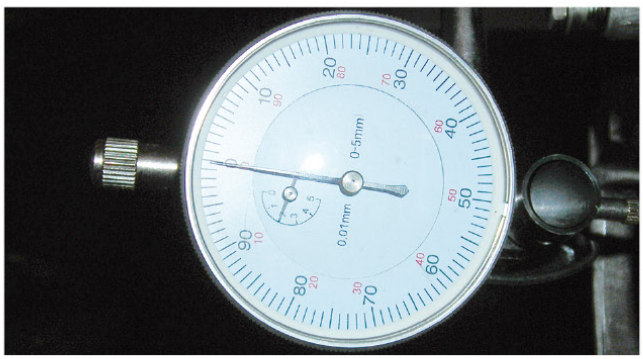
Elemento	Apoyo 1	Apoyo 2	Apoyo 3	Apoyo 4	Apoyo 5
Resultado	≈ 0,102 mm	≈ 0,102 mm	≈ 0,102 mm	≈ 0,102 mm	≈ 0,102 mm

TABLA 5.9

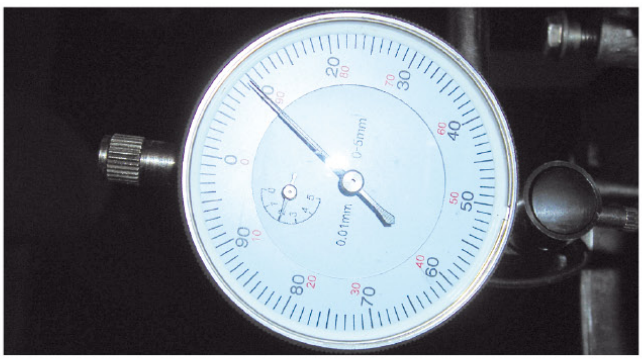
Elemento	Muñequilla 1	Muñequilla 2	Muñequilla 3	Muñequilla 4
Resultado	≈ 0,076 mm	≈ 0,076 mm	≈ 0,076 mm	≈ 0,076 mm



Ubicación del comparador y desplazamiento del cigüeñal con ayuda de un destornillador o palanca



Puesta a cero del comparador en uno de los topes de desplazamiento del cigüeñal



Medida del juego axial del cigüeñal en el tope de desplazamiento en sentido contrario

Figura 5.70. *Comprobación del juego axial del cigüeñal.*

© Ediciones Paraninfo

0,10 mm. También se puede medir con un micrómetro el espesor de los cojinetes axiales y compararlo con la medida del fabricante, como muestra la Figura 5.71.

Figura 5.71. *Medición del espesor de los cojinetes axiales.*

Tras la comprobación del cigüeñal se puede inspeccionar la biela. Como la medida del conjunto cabeza de biela-muñequilla del cigüeñal se ha hecho anteriormente puede verificarse el límite de arqueo y el límite de torsión de la misma empleando un aparato de metrología especial, como muestra la Figura 5.72. Con una galga se comprueba el arqueo, que no debe ser superior a 0,15 mm por cada 100 mm, y la torsión, que no debe superar los 0,30 mm cada 100 mm. La medida del arqueo también puede realizarse con el pistón montado por si este estuviera deformado.

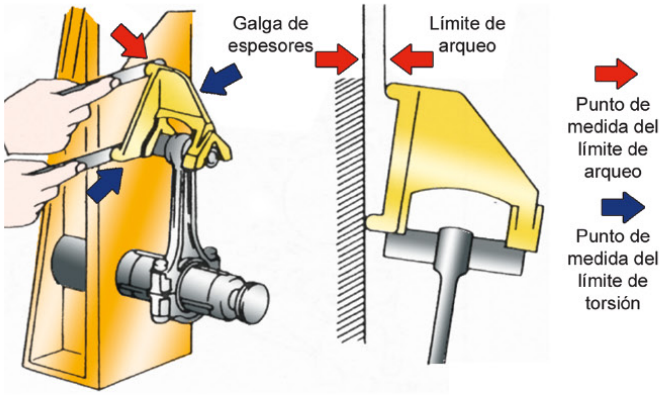


Figura 5.72. *Medida del arqueo y torsión de la biela.*

Si se ha desmontado el pistón de la biela puede medirse el diámetro del bulón y el diámetro de su alojamiento, calculando posteriormente el juego de montaje en función de si la instalación del bulón es flotante en biela, flotante en pistón o flotante en ambos. El procedimiento es similar al empleado para calcular el juego de los apoyos y muñequillas del cigüeñal. La Figura 5.73 representa esquemáticamente la secuencia de operaciones para llevar a cabo esta medida en el conjunto pistón-bulón-biela de un pequeño motor de dos tiempos.

Figura 5.73. *Procedimiento de medida del juego entre bulón y pistón y bulón y biela.*

Sabías que...

No solo se pueden hacer medidas dimensionales sino que también se pueden comparar los pesos entre elementos iguales, tales como bielas y pistones. La diferencia máxima de peso entre bielas no debe ser superior a unos 3 gramos y en los pistones de 4 gramos.

La comprobación del pistón consiste en realizar una inspección visual de las superficies de contacto con el cilindro, que no deben presentar marcas acusadas de desgaste, y en medir el diámetro del mismo. El punto de medida lo ha de especificar el fabricante, ya que hay que tomar como referencia una distancia, bien desde la cabeza o bien desde la falda del pistón y en una dirección determinada, que suele ser la perpendicular al bulón, como muestra la Figura 5.74.

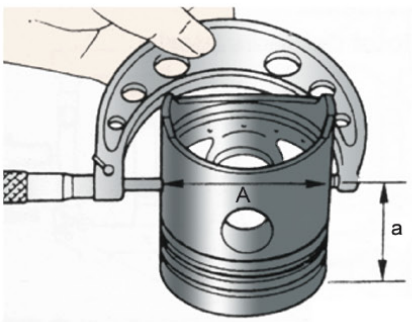
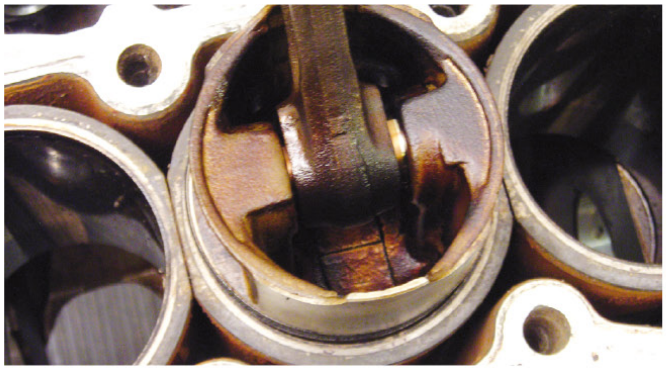


Figura 5.74. *Medida del diámetro del pistón.*

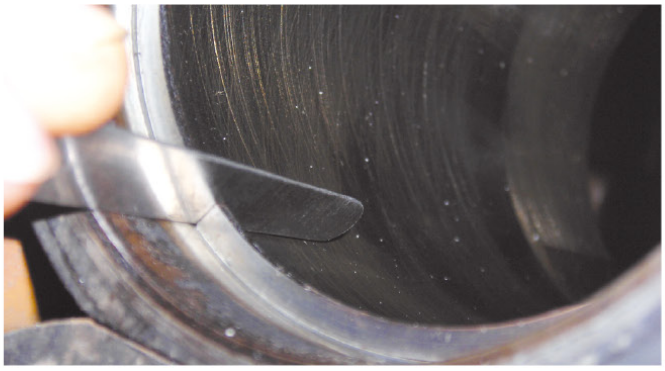
© Ediciones Paraninfo

Medición del espesor del segmento

Medición del juego entre el segmento y su alojamiento



Centrado del segmento en el cilindro ayudado del pistón sin segmentos montados



Medición de la separación entre puntas del segmento

Figura 5.75. *Comprobación de los segmentos.*

Los segmentos también pueden ser comprobados mediante tres operaciones, mostradas en la Figura 5.75. La primera es medir su espesor con un micrómetro. La segunda es medir el espacio existente entre el segmento y su alojamiento, introduciendo una galga en dicho espacio, que dará una medida del juego. La tercera y última operación es la medida de la separación entre puntas, introduciéndolo en el cilindro, centrándolo con el propio pistón e introduciendo una galga entre las puntas, anotando la medida, que debe ser entre 0,20 y 0,50 mm para los segmentos de compresión y entre 0,30 y 1,00 mm para el rascador de aceite.

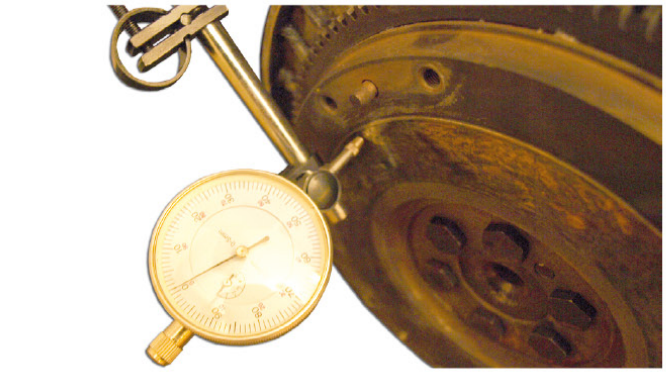


Figura 5.76. *Comprobación del alabeo del volante de inercia.*

Es importante comprobar también el alabeo del volante de inercia, utilizando una base magnética y un reloj comparador, como muestra la Figura 5.76. La diferencia máxima que debe marcar la aguja en un giro completo del volante no debe superar los 0,10 mm. Esta medida también se puede hacer sobre la placa de mando en vehículos con transmisión automática, siendo la medida algo más permisiva y de valor máximo de 0,20 mm.

5.3.5. Bloque de cilindros

La comprobación del bloque comienza, como en todos los elementos, por una inspección visual del estado del mismo, haciendo hincapié en la conservación de las roscas y orificios.

Una vez eliminados los restos de junta se verifica la planitud de la superficie de contacto con la junta de culata, empleando una regla de planitud y en las direcciones indicadas por el fabricante, como aparece en la Figura 5.77. Normalmente, la planitud es correcta si no se supera una luz de 0,05 mm, medido con una galga.

Una de las comprobaciones más importantes del motor es el desgaste de los cilindros. Para medir el desgaste de los cilindros se toman, en cada uno de ellos, las medidas de

© Ediciones Paraninfo

dos diámetros perpendiculares, siendo uno longitudinal (A) y otro transversal (B) al cigüeñal. Estos diámetros se toman a diferentes alturas que, si no especifica nada el fabricante, serán a1/10 de la carrera (1), a 4/10 (2) y a 8/10 (3). La Figura 5.78 muestra los puntos de medida de los cilindros.

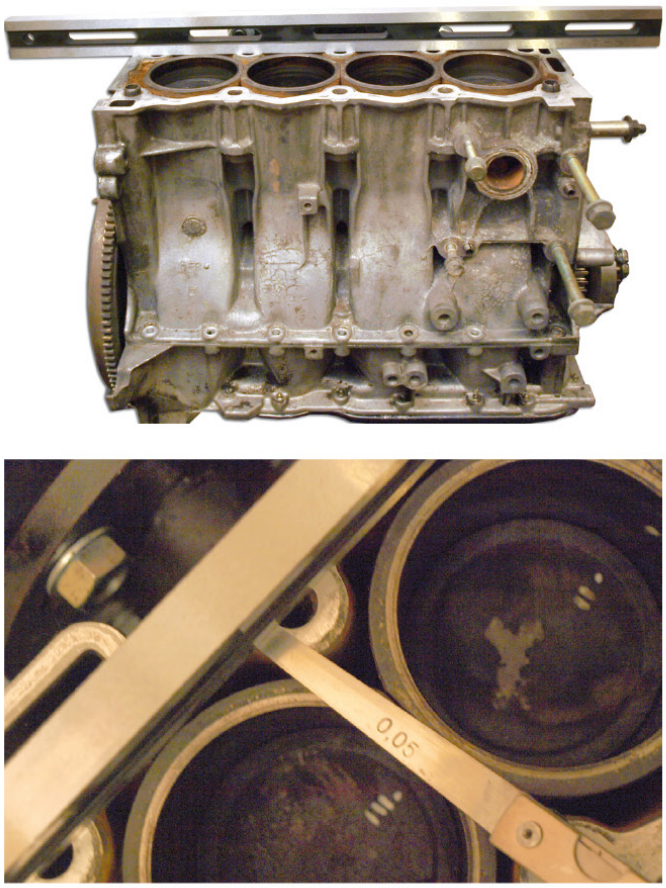


Figura 5.77. *Comprobación del plano de junta del bloque.*

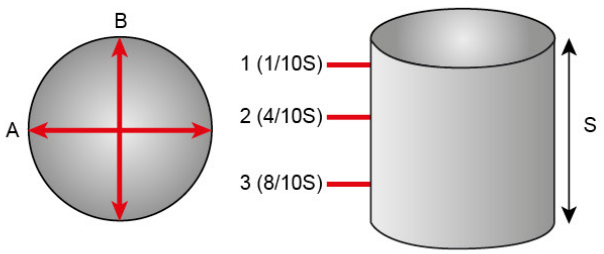


Figura 5.78. *Puntos de medida del desgaste de los cilindros.*

Para realizar la medición del desgaste de los cilindros se busca el diámetro nominal del cilindro en el manual del fabricante, que en el caso del motor de referencia es de 75 mm. Se pone esa medida en un micrómetro y se sujeta este a un tornillo de banco con cuidado de interponer un material blando entre las mordazas para no dañar el aparato de medida. Después se prepara el alexómetro con una longitud del palpador que pueda trabajar en el rango de medida necesario. Se lleva el alexómetro al micrómetro y con la medida del diámetro nominal del cilindro se pone el reloj a cero. Posteriormente se hacen las medidas de los diámetros y a las alturas indicadas en los cilindros. Para ello hay que colocar el alexómetro perpendicularmente a las superficies, por lo que se le hace oscilar a un lado y a otro en la dirección de cada diámetro hasta que la aguja cambie de sentido, siendo en ese punto muerto en el que el alexómetro está perfectamente perpendicular y se puede anotar la medida, que será lo que indique la aguja tomando como referencia el cero. La Figura 5.79 muestra paso a paso este procedimiento de medida.

Figura 5.79. *Proceso de medida del desgaste de los cilindros.*

© Ediciones Paraninfo

TABLA 5.10

Cilindro		1		2		3		4	
Altura	Diámetro	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento
1	A	75,00	0,02	75,00	0,02	75,00	0,01	75,01	0,01
	B	75,02		75,02		75,01		75,02	
2	A	75,02	0,02	75,01	0,02	75,00	0,02	75,00	0,03
	B	75,04		75,03		75,02		75,03	
3	A	75,00	0,02	75,01	0,02	75,00	0,02	75,01	0,03
	B	75,02		75,03		75,02		75,04	
Conicidad A		0,00		0,01		0,00		0,00	
Conicidad B		0,00		0,01		0,01		0,02	

Las medidas se anotan en una tabla como la Tabla 5.10, donde se calcula el ovalamiento por cada par de diámetros A y B de una misma altura, restando uno de otro, y la conicidad. Normalmente, para calcular la conicidad el fabricante toma la medida de cada diámetro de la altura superior (1) y se lo resta a la medida del mismo diámetro de la altura inferior (3). Por ejemplo, para calcular el ovalamiento del cilindro 1 en la altura 1 se haría la operación Diámetro $A_{Altura\ 1}$ − Diámetro $B_{Altura\ 1}$. Para calcular la conicidad en el plano del diámetro A del cilindro uno habrá que hacer Diámetro $A_{Altura\ 1}$ − Diámetro $A_{Altura\ 3}$. Todo esto se hace de manera sucesiva en cada cilindro hasta rellenar la tabla. Posteriormente se comprueba que el ovalamiento máximo no supera los 0,15 mm y que la conicidad máxima no supera los 0,10 mm. Algunos fabricantes establecen como única referencia el desgaste máximo, que es el resultado de tomar el mayor diámetro de la tabla y restarle el diámetro nominal, teniendo que ser el resultado de esta operación menor a 0,20 mm.

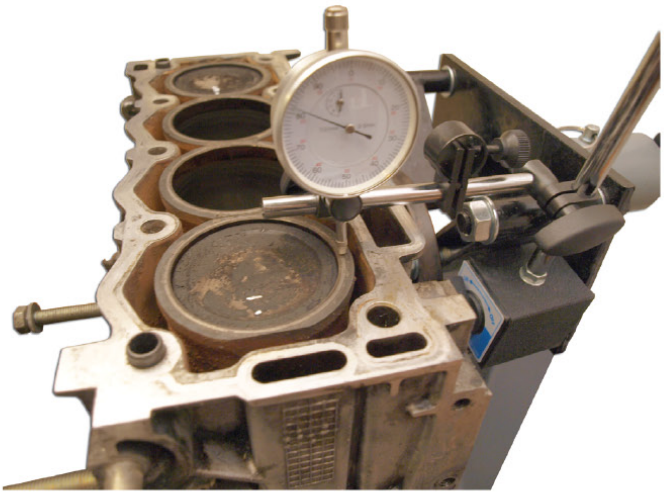


Figura 5.80. *Verificación de la altura de una camisa húmeda con respecto al bloque.*

5.4. Montaje

5.4.1. Bloque de cilindros

La operación de montaje principal del bloque es la inserción de las camisas, bien secas o bien húmedas. En el caso de las camisas secas, se introducirán lubricando previamente el orificio del bloque y el exterior de la camisa, utilizando posteriormente el útil adecuado, bien una prensa hidráulica o de tornillo. En el caso de las camisas húmedas se tendrá cuidado de colocar correctamente la junta tórica de estanqueidad con el bloque. En ambos casos hay que verificar después la altura de la camisa con respecto al bloque, como muestra la Figura 5.80, donde se puede ver la comprobación de esa diferencia de alturas con un reloj comparador en un bloque con camisas húmedas.

Recuerda que...

Antes de empezar el montaje del motor hay que tener a mano el manual del fabricante para consultar las peculiaridades del montaje y sobre todo los órdenes y pares de apriete de los tornillos.

5.4.2. Tren alternativo

Una vez preparado el bloque de cilindros se puede empezar a montar el tren alternativo. Lo primero que hay que hacer es instalar el conjunto pistón-bulón-biela, teniendo en cuenta su ubicación y orientación en cada cilindro. Hay que asegurarse de situar los tres segmentos con sus puntas separadas 120°, como muestra la Figura 5.81, o, si el número es distinto, lo más separadas posible unas de otras para evitar fugas de compresión y el paso de aceite a la cámara de combustión.

© Ediciones Paraninfo

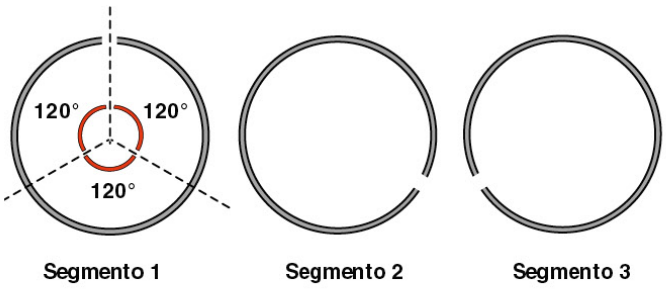


Figura 5.81. *Colocación de las puntas de los segmentos.*

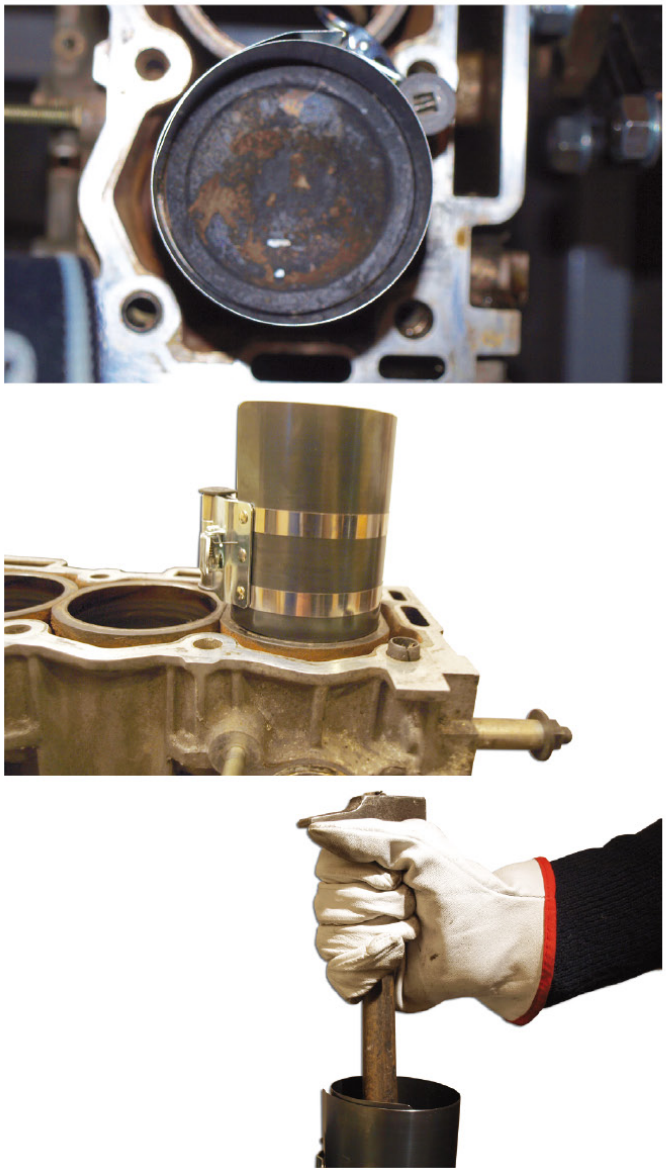


Figura 5.82. *Introducción de los pistones en los cilindros con el ceñidor de segmentos.*

Colocados los segmentos en su posición, se introducen en el cilindro, lubricando bien este y el pistón para facilitar el montaje y no dañar las piezas. Es necesario un ceñidor de segmentos para poder deslizar el conjunto pistón-segmentos sobre él y situarlo en el cilindro, como muestra la Figura 5.82. Para realizar la operación es necesario sujetar y centrar bien el ceñidor y cuando vayan a pasar los segmentos al cilindro puede requerirse dar unos suaves golpes con el mango de madera de un martillo.

A continuación se da la vuelta al motor y se coloca el cigüeñal, con cuidado de no forzar los casquillos de cabeza de biela ni de los apoyos, que deben lubricarse con aceite de motor nuevo para que cuando se gire el cigüeñal no se produzca un contacto sólido-sólido y puedan rayarse.

Posteriormente se coloca la bancada o las tapas de los apoyos. En el caso de tener bancada hay que aplicar un cordón de junta líquida de las características prescritas por el fabricante, según la Figura 5.83, teniendo cuidado de generar un cordón continuo y aplicar la cantidad justa. A continuación se aprietan los tornillos en el orden adecuado, como muestra la Figura 5.84. Si el motor lleva tapas en los apoyos se empezará apretando desde el centro hacia fuera. Después se les aplica el par correspondiente, que en este caso consiste en un par inicial de 2 mkg con llave dinamométrica y un posterior apriete angular de 45° con el goniómetro, como indica la Figura 5.85.

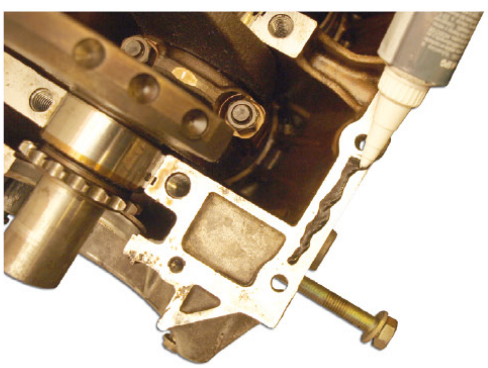


Figura 5.83. *Aplicación de junta líquida entre bancada y bloque.*

Recuerda que...

Hay que fijarse bien en las unidades de apriete de la llave dinamométrica, ya que algunas miden en mkg y otras en N · m.

$$1 \text{ mkg} = 9{,}8 \text{ N} \cdot \text{m} \approx 10 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Con lo cual, en caso de error se puede multiplicar el par de apriete por 10 y dañar el tornillo y la rosca.

Hay algunas llaves dinamométricas que miden el par en daN · m, que son 10 N · m, o lo que es lo mismo, 1 mkg.

$$1 \text{ daN} \cdot \text{m} \approx 1 \text{ mkg}$$

© Ediciones Paraninfo

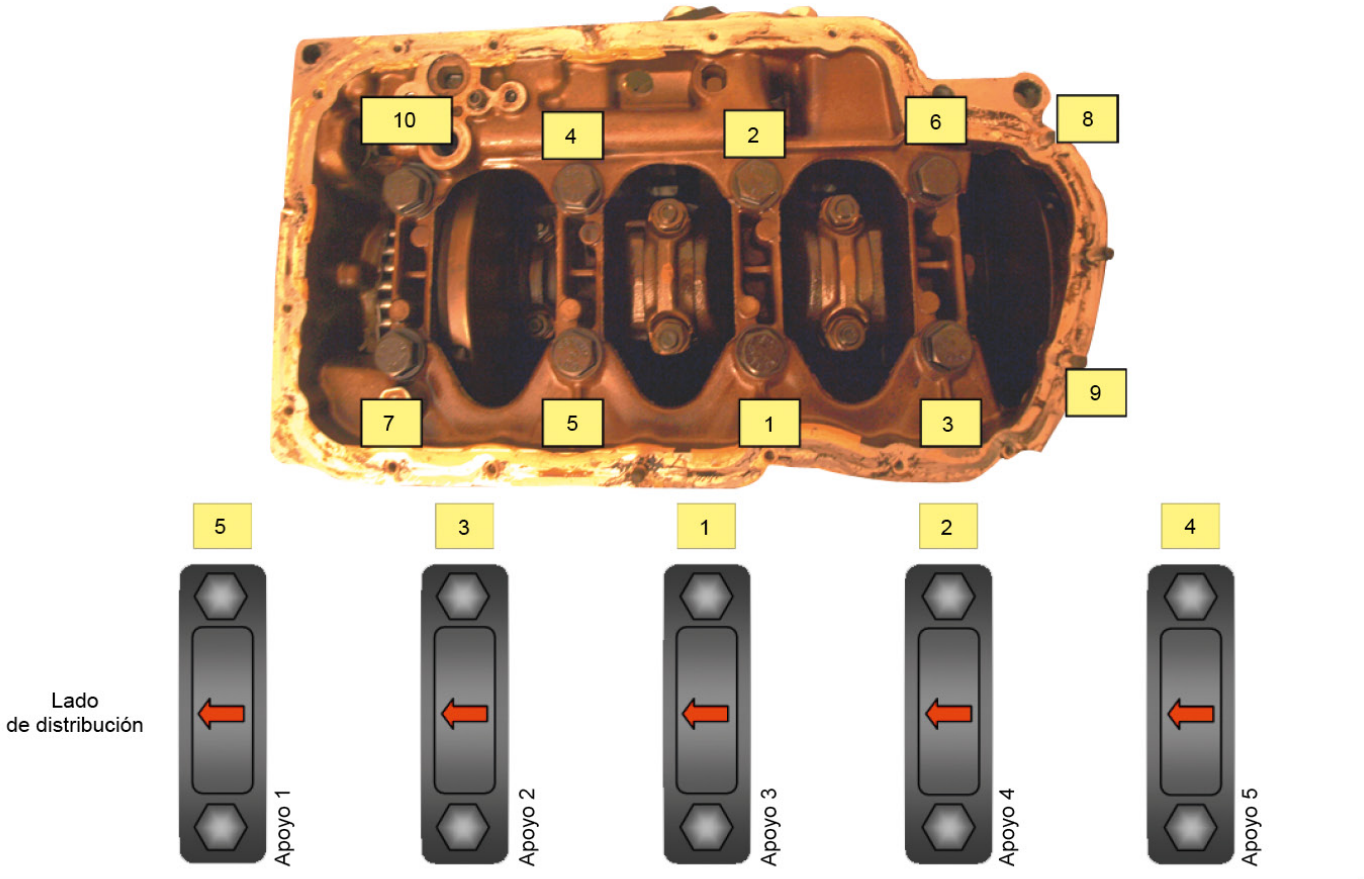


Figura 5.84. *Orden de apriete de la bancada o de las tapas de los apoyos, según sea el caso.*

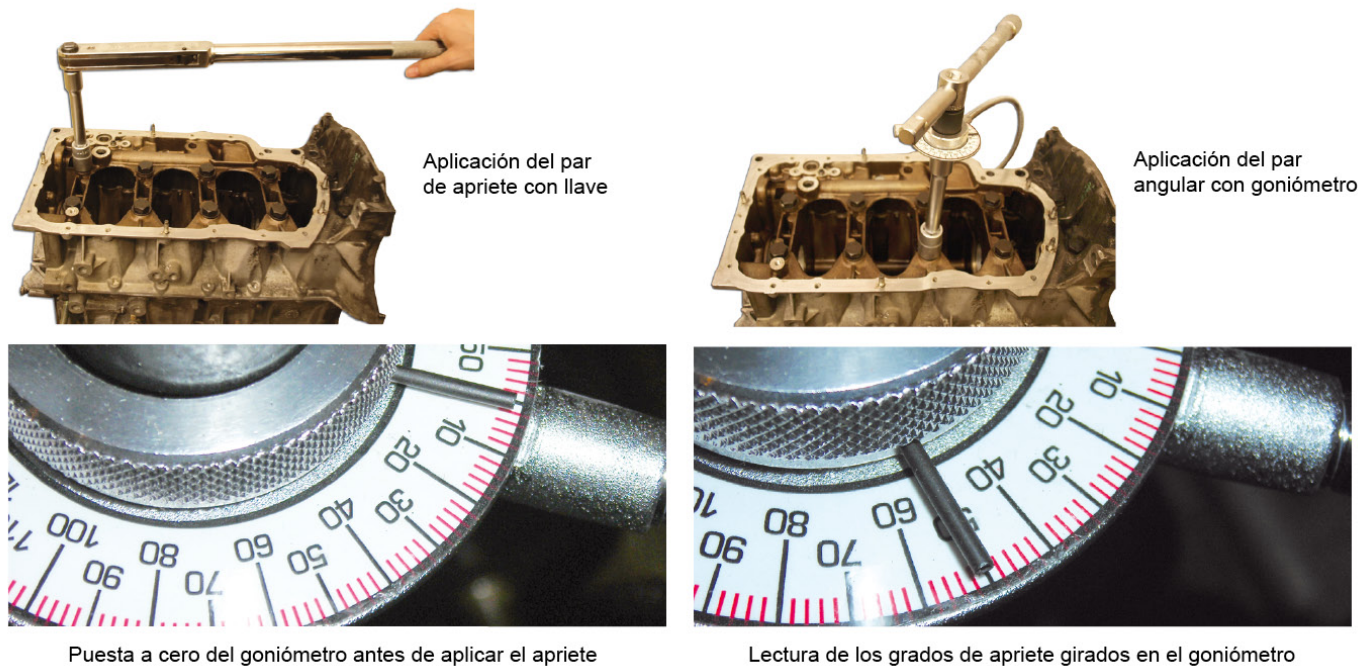


Figura 5.85. *Apriete de los tornillos de la bancada.*

© Ediciones Paraninfo

Recuerda que...

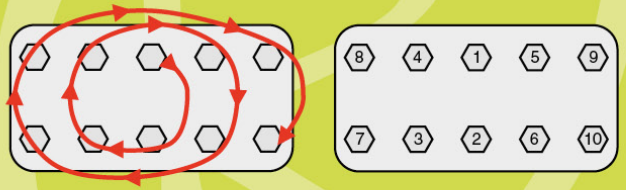
Es muy importante, antes de proseguir con el montaje, comprobar que todo el tren alternativo gira con suavidad. Es posible que el movimiento no pueda llevarse a cabo con la mano, puede ser necesario utilizar una llave en el piñón del cigüeñal, pero en cualquier caso no deben notarse saltos o puntos duros. Si es así habrá que revisar los casquillos.

En ocasiones hay que verificar la longitud de determinados tornillos de responsabilidad, tales como los de la bancada o la culata, ya que pueden haber sufrido un alargamiento. Esto ocurre cuando el fabricante dimensiona el tornillo para que trabaje en la zona de deformación plástica, donde una vez aliviada la tensión no vuelve a recuperar su longitud nominal. Otras veces el fabricante prescribe directamente su sustitución por tornillos nuevos cuando se vuelve a montar el motor. La comprobación de la longitud puede realizarse utilizando un calibre, como puede apreciarse en la Figura 5.86.

Figura 5.86. *Medida de la longitud de los tornillos de la bancada.*

Recuerda que...

Es posible que sea necesario realizar un orden de apriete en espiral, bien porque lo prescriba el fabricante o en el caso de determinadas disposiciones de los tornillos. Para apretar, la espiral partirá del centro y se extenderá hacia fuera. Para aflojar, partirá del exterior y acabará en el centro.



Aprovechando que se está trabajando en la parte inferior del motor, puede colocarse la bomba de aceite y el cárter, aplicando junta líquida en la superficie de contacto entre este y la bancada, como muestra la Figura 5.87.

Seguidamente puede darse la vuelta al motor y montar el volante de inercia por un lado y el piñón del cigüeñal por otro. Antes de esta operación hay que montar los retenes de aceite de ambos lados con el útil apropiado para insertarlos de una manera centrada y aplicando grasa en los labios del retén para no dañarlos en el proceso, como muestra la Figura 5.88. Normalmente es necesario aplicar fijatornillos en los tornillos del volante de inercia y posteriormente apretarlos en el orden correspondiente y al par prescrito, como muestra la Figura 5.89.

Para facilitar el apriete de los tornillos del volante y del piñón del cigüeñal hay que instalar el inmovilizador del volante de inercia o emplear los útiles especificados por el fabricante, de la misma forma que se hizo en el desmontaje.

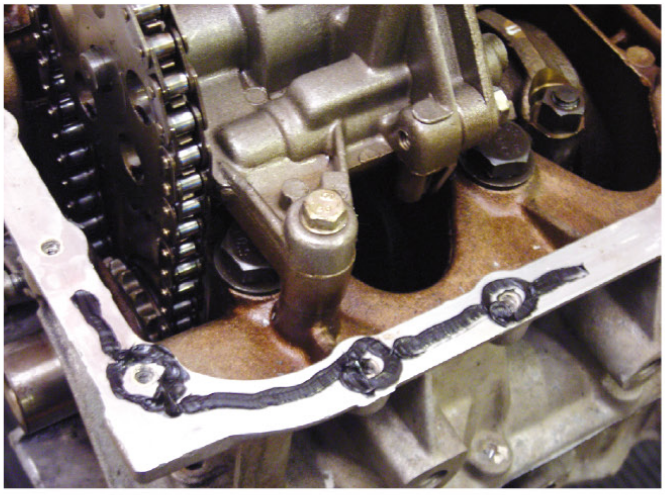


Figura 5.87. *Montaje del cárter.*

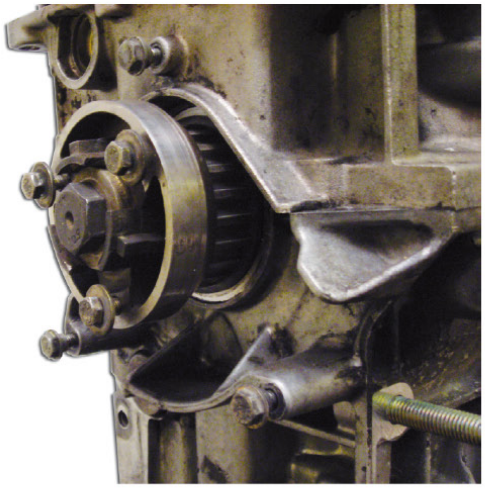
© Ediciones Paraninfo

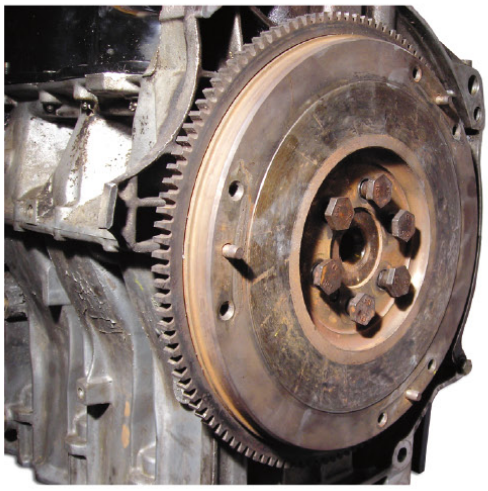
Figura 5.88. *Aplicación de grasa en el retén antes de su montaje.*

5.4.3. Elementos de la distribución

Antes de empezar con el montaje de las válvulas es recomendable sustituir los retenes de válvulas, ya que se han desmontado todos los elementos de la distribución, a fin de evitar un posible consumo de aceite debido al tiempo de funcionamiento del motor. Para ello se empleará el útil adecuado y se tendrá cuidado de no dañarlos durante su instalación, aplicando aceite en las superficies de contacto.

Para montar todas las válvulas en la culata es necesario volver a emplear el compresor de muelles de válvula, siendo el proceso similar al desmontaje, como muestra la Figura 5.90. Cuando se introducen las válvulas hay que lubricar con aceite de motor nuevo el vástago de la válvula para no dañar su superficie ni la de la guía. Una vez montadas las válvulas es recomendable dar un golpe suave con el martillo de plástico sobre todas las colas a fin de asegurar un buen asiento de los semiconos de retención.





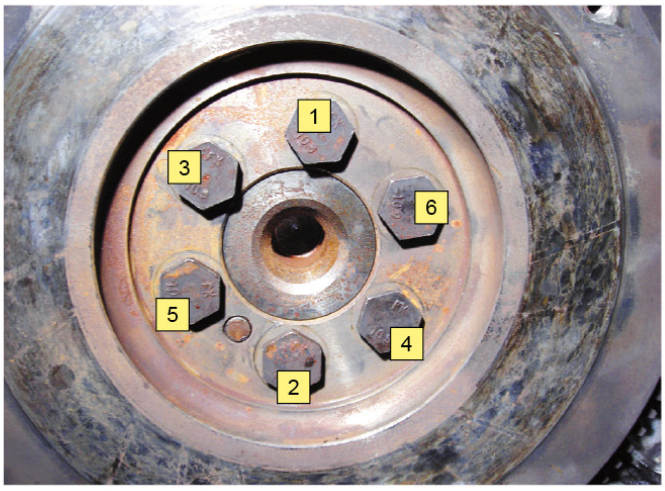


Figura 5.89. *Montaje del volante de inercia y del piñón del cigüeñal.*

© Ediciones Paraninfo

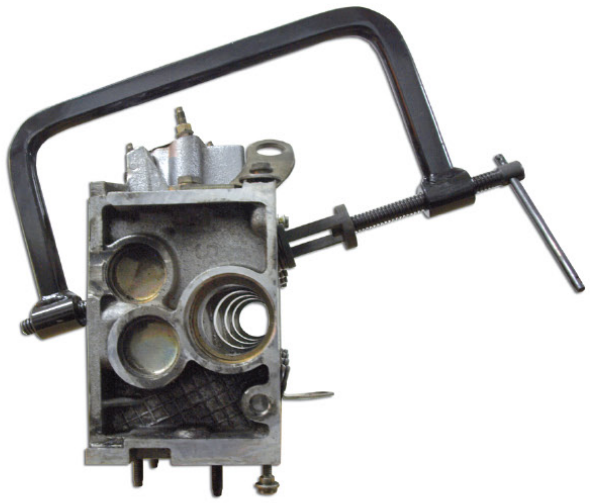


Figura 5.90. *Montaje de las válvulas.*

Si el motor lleva taqués hidráulicos o compensadores de juego hidráulicos se instalarán lubricando las superficies de contacto para no dañarlas.

Ahora se coloca el árbol o los árboles de levas, según corresponda y dependiendo de si lleva tapas en los apoyos o no. Si lleva tapas en los apoyos, el procedimiento de apriete es el mismo que en el caso de las tapas de los apoyos del cigüeñal, prestando atención a su posición y orientación. Deberán lubricarse las superficies de contacto aplicando aceite en los cojinetes del árbol de levas. Puede instalarse el retén de aceite del árbol de levas, aplicando grasa en los labios y utilizando el útil correspondiente.

Puede ocurrir, en función de la configuración del motor, que algunos elementos de la distribución sea necesario montarlos y comprobarlos con la culata montada o cuando el mando de la distribución esté instalado.

En el caso del motor de referencia, los tornillos de apriete del eje de balancines son los mismos que fijan la culata, por lo que ambos elementos se instalarán conjuntamente.

5.4.4. Culata

Una comprobación que se puede hacer con la culata desmontada es comprobar la estanqueidad de las válvulas, empleando el instrumento mostrado en la Figura 5.91, que consiste en una cámara que lleva un manómetro incorporado (1) y que su base está bordeada por una junta de goma que asegura la estanqueidad. Mediante una pera (2) se insufla aire en el interior de la cámara y se comprueba con el manómetro que la aguja empieza a subir. Cuando se deja de aplicar presión el manómetro debe marcar una presión estable. Si hay una caída brusca de presión es que alguna válvula no cierra correctamente.

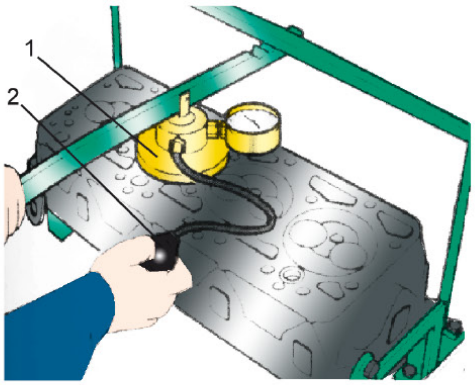


Figura 5.91. *Comprobación de la estanqueidad de las válvulas.*

Antes de montar la culata en el motor se puede medir el volumen de la cámara de combustión. Para ello se montan las válvulas y las bujías, se coloca la culata boca arriba y con el plano de junta nivelado. Después se pone encima de cada cámara una placa de plástico rígido transparente o de metacrilato con un orificio. Para asegurar la hermeticidad se puede aplicar grasa en los bordes. Posteriormente se introduce aceite fluido desde una probeta graduada y se mide el volumen introducido hasta enrasar con el orificio, como muestra la Figura 5.92. Se comprobará que la diferencia de volúmenes entre cámaras no excede el valor prescrito por el fabricante. Esta medida se aplica fundamentalmente a motores de gasolina y no es de gran exactitud para calcular la relación de compresión ya que habría que tener en cuenta la parte del volumen de la cámara que alberga el pistón.

Hay que tener en cuenta que en el caso de los motores diésel de inyección indirecta hay que instalar las precámaras. Hay que tener en cuenta el proceso de montaje en función de si es precámara de precombustión o precámara de turbulencia. La Figura 5.93 muestra la posición de montaje de una precámara de turbulencia.

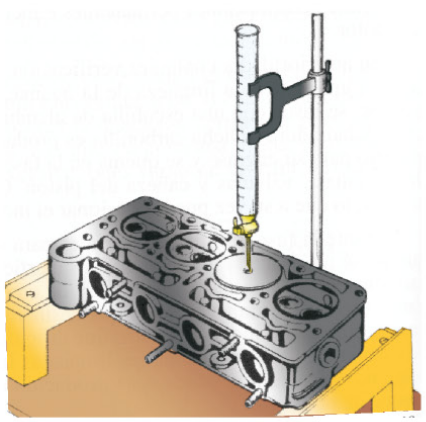


Figura 5.92. *Medida del volumen de la cámara de combustión.*

© Ediciones Paraninfo

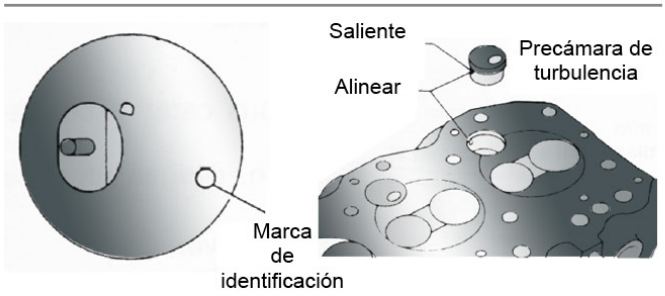


Figura 5.93. *Instalación de una precámara de turbulencia en un motor diésel de inyección indirecta.*

Realizados los pasos anteriores se puede montar la culata en el bloque. Previamente se instalará una junta de culata nueva, atendiendo a su posición de montaje, como muestra la Figura 5.94, habiendo calculado la altura adecuada de la misma.

Se sitúa la culata sobre el bloque y se aprietan los tornillos al par correspondiente. En el caso del motor de referencia, la culata y los apoyos del eje de balancines comparten los mismos tornillos, cuyo orden de apriete es similar al de la bancada, desde el centro hacia fuera, mostrándose en la Figura 5.95. El valor del apriete es de 2 mkg y, posteriormente, en el mismo orden, un apriete angular de 120°, tornillo por tornillo, repitiendo esta última operación una vez más, siendo el apriete de 2 mkg + 120° + 120°.

Una vez montada la culata se instala la polea del árbol de levas, inmovilizando esta de la misma forma que se hizo para el desmontaje.

En el caso de los motores diésel, el montaje de la junta de culata cobra una gran importancia. Cuando se sustituye únicamente la junta de culata, hay que montar una junta igual a la usada anteriormente. En el caso de sustituir o reparar el bloque de cilindros, la culata, el pistón, la biela o el cigüeñal, hay que seleccionar una junta adecuada, siendo el procedimiento más habitual el siguiente:

- Se mide la proyección del pistón, para ello:
  - Se coloca cada pistón en su PMS y en dicha posición se mide la proyección en dos puntos, como indica la Figura 5.96. Para ello se instala un reloj comparador en una base magnética y se coloca el palpador sobre la cabeza del pistón. En ese momento se pone el reloj comparador a cero. Se desplaza el comparador de

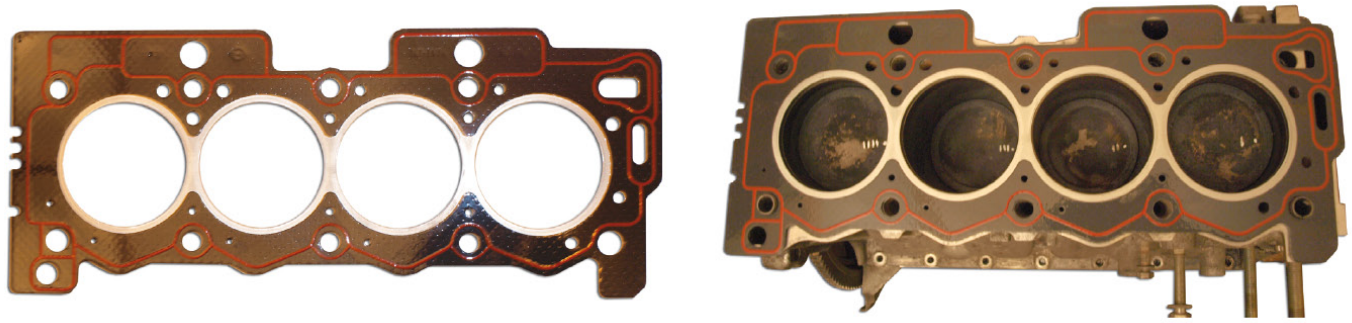


Figura 5.94. *Junta de culata nueva y su instalación.*

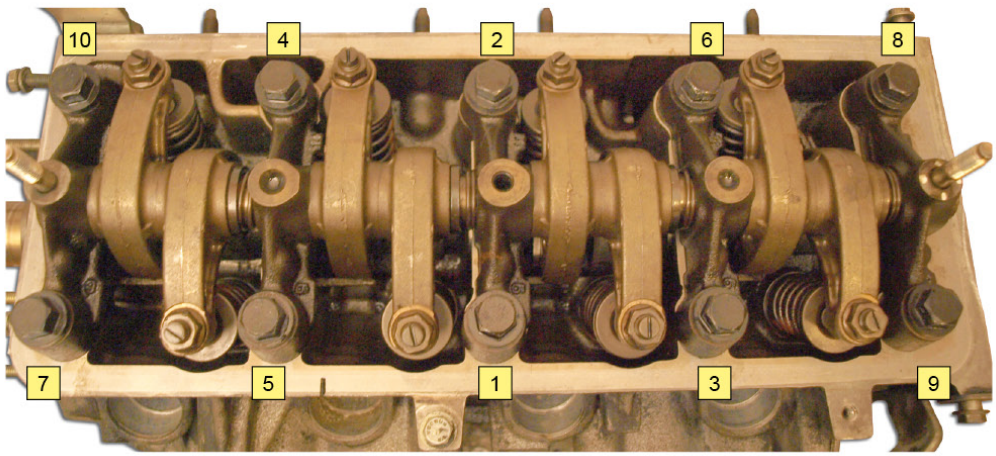


Figura 5.95. *Orden de apriete de los tornillos de la culata.*

© Ediciones Paraninfo

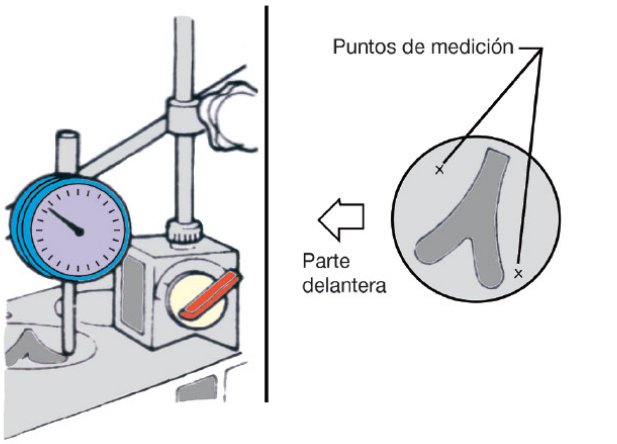


Figura 5.96. *Medición de la proyección del pistón.*

forma que ahora el palpador toque la culata. Ahora se anota la medida de la aguja, que indica la proyección del pistón.

- Se calcula el valor promedio de la proyección del pistón en los dos puntos medidos.
- Se repite la operación en el resto de cilindros.

Se selecciona una junta de culata adecuada según el valor de proyección del pistón más grande hallado en todos los pistones. La Tabla 5.11 representa un ejemplo de un fabricante para escoger el espesor de la junta de culata por el método descrito anteriormente.

TABLA 5.11

Proyección promedio máxima [mm]	Espesor de la junta [mm]	Número de clasificación de la junta
Menos de 0,368	1,20 ± 0,05	2
Entre 0,368 y 0,418	1,25 ± 0,05	3
Más de 0,418	1,30 ± 0,05	4

En cualquier caso, siempre que se repare la culata en un motor diésel, habrá que tener en cuenta la distancia desde el plato de cada válvula al plano de junta de la culata y en los motores de inyección indirecta la distancia desde las precámaras al mismo plano de junta.

5.4.5. Mando de la distribución

En el motor de referencia, el mando de la distribución es por correa dentada y a su vez mueve la bomba de agua. Lo primero que hay que hacer es montar el conjunto soporte de la bomba de agua, sustituyendo la junta tórica de estanqueidad por una nueva y apretando los tornillos al par correspondiente. Posteriormente se sitúa el tensor de la correa aproximando su tornillo de apriete.

Cada fabricante establece su procedimiento para el calado de la distribución y los útiles necesarios para ello, dependiendo del sistema de distribución que incorpore el motor. En este caso, la polea del árbol de levas se fija con un tornillo a un orificio mecanizado en la culata. Por otro lado, el cigüeñal se sitúa colocando un tornillo que atraviesa el bloque y se introduce en una ranura labrada en el volante de inercia. De esta forma, cigüeñal y árbol de levas están en fase. La Figura 5.97 muestra este procedimiento, donde en vez de los útiles del fabricante se han empleado dos tornillos del mismo diámetro que realizan el mismo efecto.

Posteriormente se lleva la correa sobre todas las poleas respetando su sentido de giro. Cada fabricante indica un proceso de instalación de la correa de distribución, pero en este caso lo prescrito es ir acoplando la correa por orden a los siguientes elementos: cigüeñal, árbol de levas, bomba de agua y rodillo tensor, como muestra la Figura 5.98.

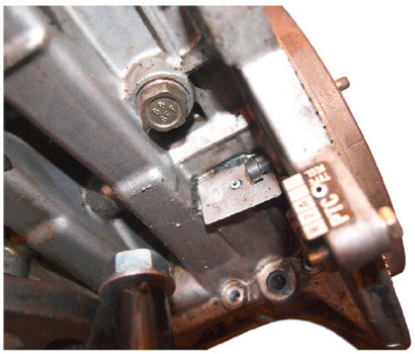
Una vez colocada la correa hay que proceder a su tensado. Para ello, el fabricante emplea un útil como el mostrado en la Figura 5.99, donde en el orificio del rodillo tensor se introduce una llave de sección cuadrada en la que a una distancia de 80 mm se cuelga un peso de 1,5 kg para posteriormente apretar la tuerca del rodillo al par especificado.

Tras esta operación se retiran los útiles de fijación de árbol de levas y cigüeñal y se efectúan cuatro vueltas de cigüeñal en el sentido de giro normal, con cuidado de no retroceder, según la Figura 5.100. Durante esta operación no se ha desmontado el útil de la Figura 5.99. Después se afloja la tuerca del rodillo tensor lentamente para que vuelva a actuar el peso y se aprieta de nuevo al par correspondiente. Para terminar se comprueba la puesta en fase con los pasadores de la polea del árbol de levas y del volante de inercia.

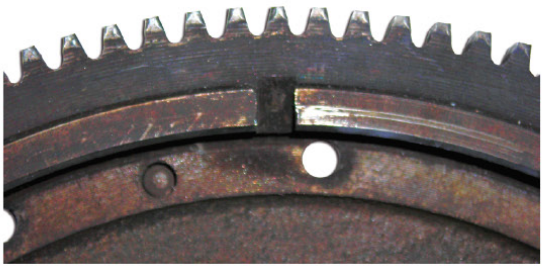
Otros modelos con correa pueden adoptar diferentes disposiciones constructivas, como por ejemplo incorporar un tensor automático que, a través de un muelle, tensa la correa de distribución a un valor preestablecido. A veces, para colocar la correa con la tensión correcta se emplean tensiómetros, cuyo objetivo es establecer una relación entre la deformación vertical de la correa entre dos puntos fijos y la fuerza necesaria para provocar esa deformación. Otros tensiómetros miden la tensión de la correa a través de la frecuencia de vibración de la misma cuando se la excita dándole un golpe.

Los mecanismos que mueve un mando de distribución por correa pueden ser muy diferentes, desde mover un único árbol de levas a mover dos o incluso cuatro en algunos motores en V. También pueden mover la bomba de inyección en motores diésel. Por ello hay que seguir

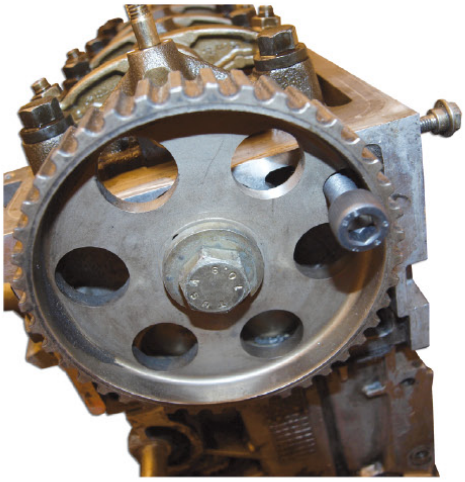
© Ediciones Paraninfo



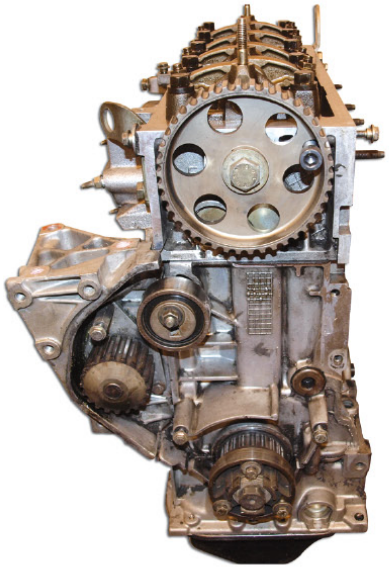
Situación del tornillo de bloqueo del cigüeñal



Muesca de bloqueo del cigüeñal en el volante de inercia



Situación del tornillo de bloqueo del árbol de levas en la polea del mismo



Cigüeñal y árbol de levas bloqueados y en fase preparados para instalar la correa de distribución

Figura 5.97. *Puesta en fase de árbol de levas y cigüeñal.*

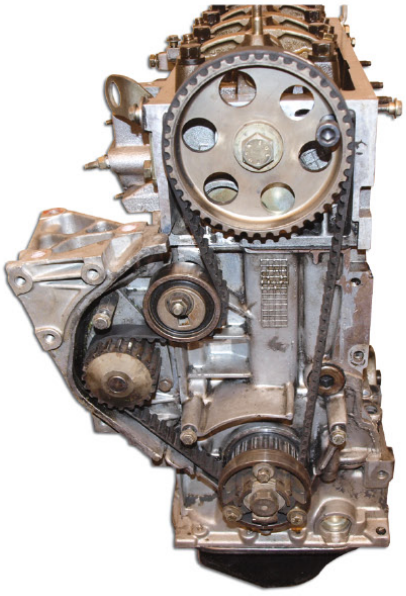


Figura 5.98. *Colocación de la correa de distribución.*

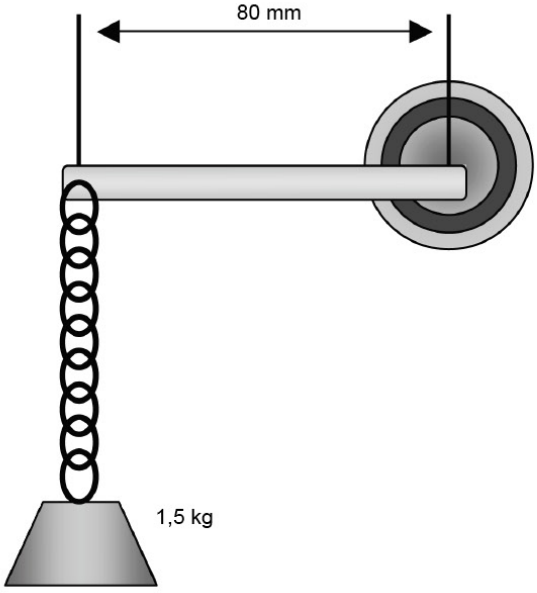


Figura 5.99. *Útil para el tensado de la correa de la distribución del motor de referencia.*

© Ediciones Paraninfo

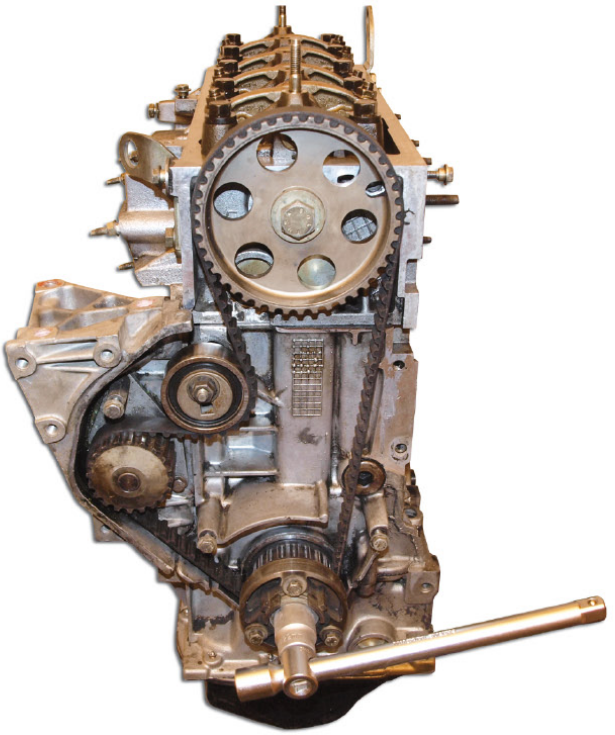


Figura 5.100. *Giro del motor para asentar la correa de distribución.*

escrupulosamente el manual de taller del fabricante ya que cada sistema tiene sus peculiaridades.

En el caso de mando de la distribución por cadena, el procedimiento es similar, teniendo cuidado de colocar correctamente el tensor y los patines. Las marcas de distribución deben estar en su posición adecuada y algunos fabricantes hacen también marcas en la propia cadena para enfrentarlas con las de las ruedas dentadas del árbol de levas, como muestra la Figura 5.101.

Cuando el mando de la distribución es por engranajes se harán coincidir todas las marcas de las ruedas dentadas, como muestra la Figura 5.102.

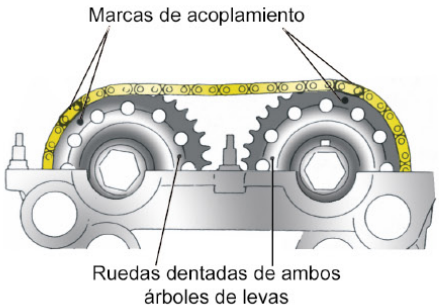


Figura 5.101. *Marcas de distribución en un sistema de accionamiento por cadena.*

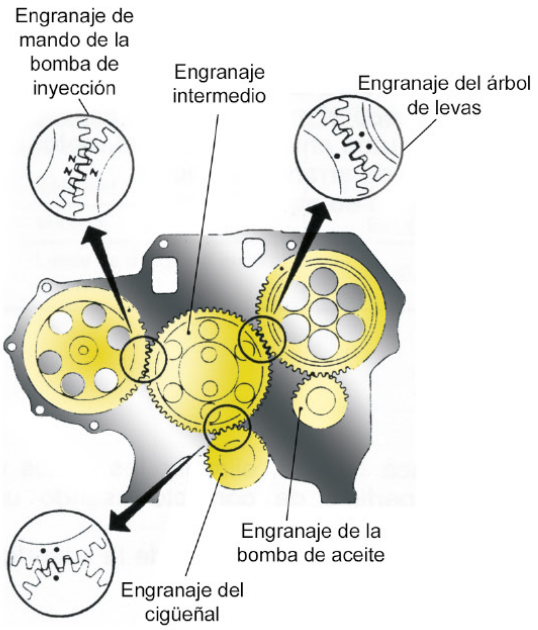


Figura 5.102. *Marcas de distribución en un sistema de accionamiento por engranajes.*

En los motores que no disponen de taqués hidráulicos o compensadores de juego es necesario hacer el reglaje de válvulas, con el fin de tener el juego especificado en frío entre la cola de la válvula y el elemento que la empuja. El reglaje de válvulas se realiza cuando el motor lleva balancines o cuando lleva taqués mecánicos.

En caso de llevar balancines, el juego se realiza aflojando la tuerca del tornillo de regulación y ajustando la distancia del extremo de este al vástago de la válvula con una galga del espesor especificado, como muestra la Figura 5.103.

En el caso de llevar taqués mecánicos, el procedimiento de comprobación es también a través de una galga, que se introduce entre el taqué y la parte circular de la leva en frío. La regulación se hace a través de unas calas de reglaje, como muestra la Figura 5.104. En caso de no cumplir el juego especificado el fabricante dispone de calas de diferentes espesores. Para sustituir la cala puede no ser necesario retirar el árbol de levas pero se requiere un útil especial para proceder a su extracción, como el representado en la Figura 5.105.

A la hora de hacer el reglaje de válvulas hay que leer el procedimiento detallado en el manual del fabricante. Lo más importante es conocer el orden de numeración de los cilindros, el orden de encendido, tener identificadas las válvulas de admisión y las de escape y saber el juego especificado en frío para las válvulas de admisión y para las de escape.

© Ediciones Paraninfo

Figura 5.103. *Comprobación del juego de válvulas cuando estas son accionadas por balancines.*

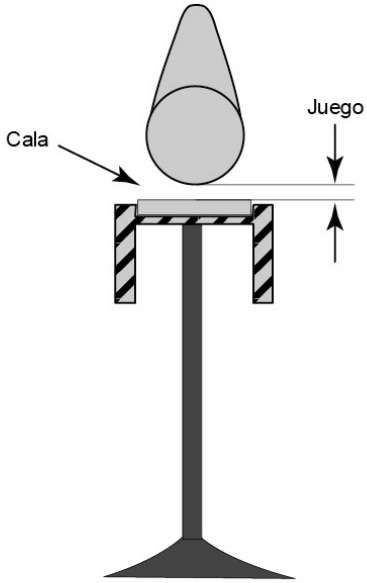


Figura 5.104. *Regulación del juego de válvulas con taqués mecánicos.*

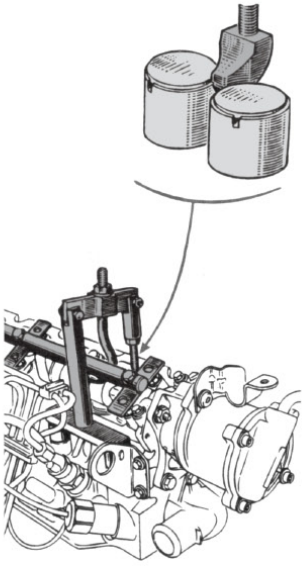


Figura 5.105. *Útil para la extracción de las calas o discos de reglaje en los taqués mecánicos.*

En el motor de referencia las válvulas son accionadas por balancines, el cilindro número 1 es el que está más próximo al mando de la distribución y el orden de encendido es 1-3-4-2. El juego de válvulas de admisión en frío es de 0,20 ± 0,05 mm y el de escape de 0,40 ± 0,05 mm.

Cuando se efectúa el reglaje en un determinado cilindro, sus válvulas han de estar totalmente cerradas. Para asegurar esto, se puede emplear el procedimiento por cruce de válvulas. Lo primero que hay que hacer es situar el cilindro número 1 en fase de cruce de válvulas. Para ello se gira el motor en el sentido de funcionamiento y se observa el movimiento de los balancines, encontrando un punto en el que estando el balancín de escape subiendo, el de admisión empieza a bajar. Si se sigue girando el motor llega un punto en que el balancín de escape llega a su tope superior. En ese momento se retrocede un poco y se busca un punto intermedio del cruce de válvulas.

Ahora se ha asegurado que el cilindro 1 está en el PMS al final de la carrera de escape, con lo que el cilindro que está con sus válvulas cerradas será aquel que esté en el PMS al final de la carrera de compresión, que según el orden de encendido es el 4, como muestra la Tabla 5.12, donde en función de la posición de cada cilindro se sabe la ubicación del resto.

Una vez realizada la regulación en el cilindro 4, el siguiente cilindro al que le toca estar en cruce de válvulas es el 3, repitiéndose el mismo proceso que en el cilindro 1, pero en este caso el cilindro a regular es el 2, como indica la Tabla 5.13.

© Ediciones Paraninfo

TABLA 5.12

Cilindro 1	Expansión	**Escape**	Admisión	Compresión
Cilindro 2	Escape	Admisión	Compresión	Expansión
Cilindro 3	Compresión	Expansión	Escape	Admisión
Cilindro 4	Admisión	**Compresión**	Expansión	Escape

TABLA 5.13

Cilindro 1	Expansión	Escape	Admisión	Compresión
Cilindro 2	Escape	Admisión	**Compresión**	Expansión
Cilindro 3	Compresión	Expansión	**Escape**	Admisión
Cilindro 4	Admisión	Compresión	Expansión	Escape

Continuando este proceso, el siguiente cilindro a poner en cruce es el 4 y a regular el 1, siendo el último cilindro a situar en cruce el 2 y a regular el 3, como indica la Tabla 5.14.

La Figura 5.106 resume el proceso de reglaje de válvulas sobre el motor de referencia.

Por último se instala la tapa de balancines, siendo recomendable sustituir su junta de goma.

A su vez se instalan las tapas de la distribución y la polea del cigüeñal En el caso del motor de referencia, el conjunto queda como aparece en la Figura 5.107.

TABLA 5.14

Cilindro 1	Expansión	Escape	Admisión	**Compresión**
Cilindro 2	**Escape**	Admisión	Compresión	Expansión
Cilindro 3	**Compresión**	Expansión	Escape	Admisión
Cilindro 4	Admisión	Compresión	Expansión	**Escape**

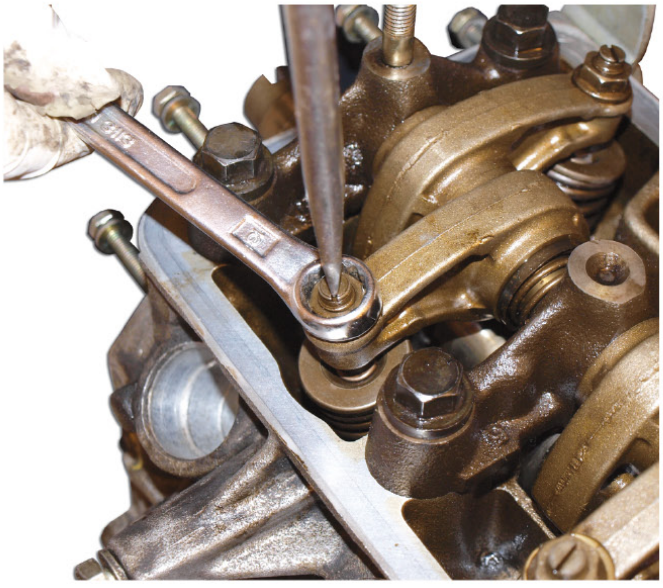
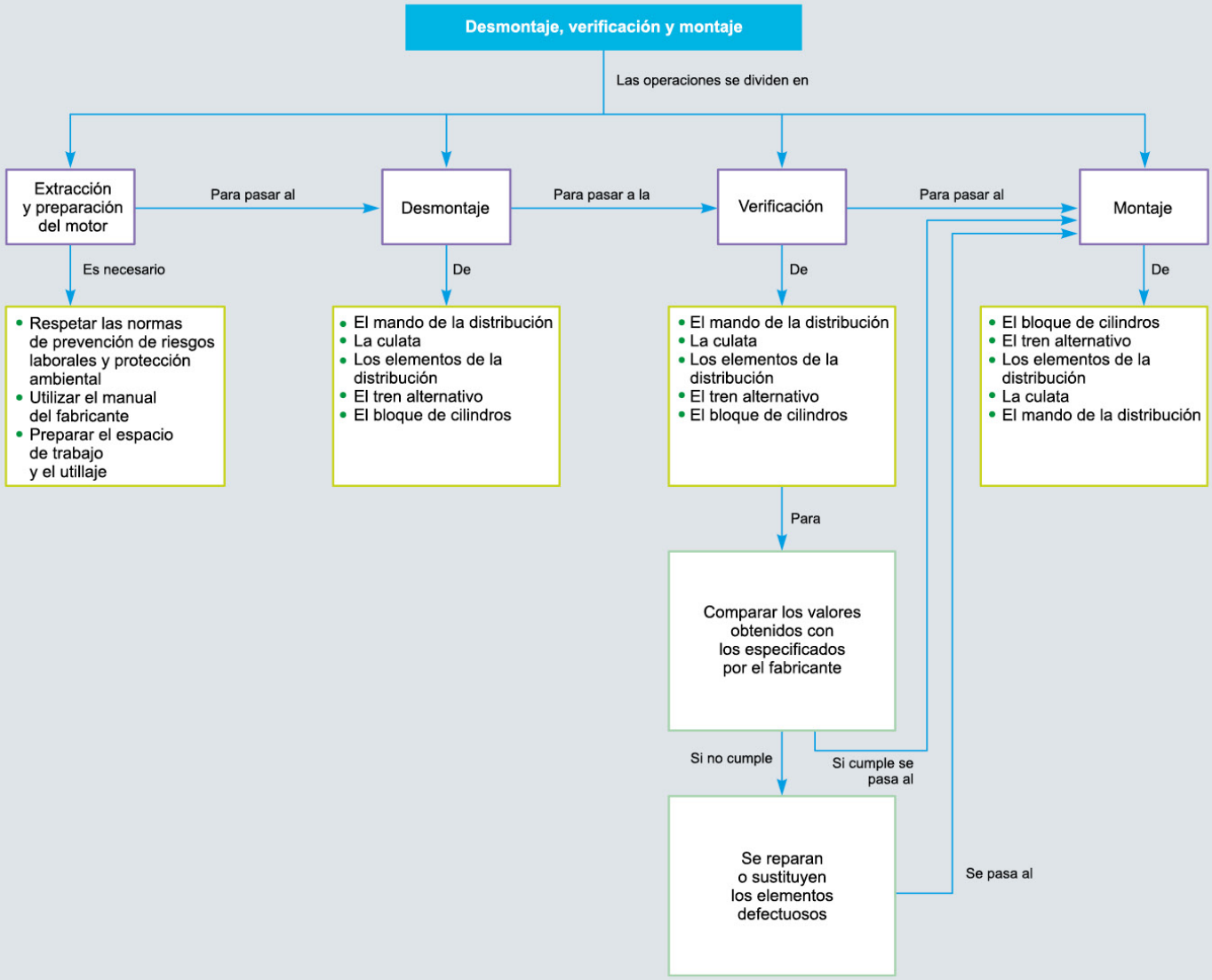


Figura 5.106. *Proceso de reglaje de válvulas.*

Figura 5.107. *Aspecto final del motor montado.*

© Ediciones Paraninfo



© Ediciones Paraninfo

ACTIVIDADES FINALES

Desmontaje, verificación y montaje

COMPRUEBA

5.1. Cuál de las siguientes llaves no debe emplearse para aflojar o apretar tornillos que requieran mucho esfuerzo:

a) Llave de estrella acodada.

b) Llave de vaso con maneral.

c) Llave de vaso con carraca.

d) Ninguna de las anteriores.

5.2. 1 daN · m equivale aproximadamente a:

a) 10 mkg.

b) 1 mkg.

c) 1 N · m.

d) 98 N · m.

5.3. El valor límite estándar de deformación del plano de junta de la culata con el bloque es de:

a) 0,01 mm.

b) 0,05 mm.

c) 0,10 mm.

d) 0,50 mm.

5.4. El aparato de medida que se utiliza para medir la holgura entre la cola y la guía de válvula es el:

a) Micrómetro.

b) Calibre.

c) Reloj comparador.

d) Alexómetro.

5.5. Si un elemento de sección circular tiene dos diámetros perpendiculares de distinta medida se dice que tiene:

a) Excentricidad.

b) Conicidad.

c) Juego radial.

d) Ovalamiento.

5.6. El aparato de medida que se utiliza para medir el desgaste de los cilindros es el:

a) Micrómetro.

b) Calibre.

c) Reloj comparador.

d) Alexómetro.

5.7. El aparato de medida que se utiliza para medir el espesor de los cojinetes axiales del cigüeñal es el:

a) Micrómetro.

b) Calibre.

c) Reloj comparador.

d) Alexómetro.

5.8. Si los puntos de la superficie exterior de un elemento que tiene sección circular no están equidistantes a su centro de giro, se dice que el elemento tiene:

a) Excentricidad.

b) Conicidad.

c) Juego radial.

d) Ovalamiento.

5.9. El aparato de medida que se utiliza para medir la longitud de los tornillos de la bancada o culata para comprobar si han sufrido alargamiento es el:

a) Micrómetro.

b) Calibre.

c) Reloj comparador.

d) Alexómetro.

5.10. En un motor con orden de encendido 1 - 3 - 4 - 2, si se quiere hacer el reglaje de válvulas del cilindro 3, ¿qué cilindro hay que situar en posición de cruce?:

a) El 1.

b) El 2.

c) El 3.

d) El 4.

© Ediciones Paraninfo

REALIZA

5.11. Realizar el desmontaje, verificación y montaje de un motor y rellenar las siguientes tablas en función de las medidas obtenidas. (Nota: puede ser necesario ampliar alguna fila o columna en función del número de cilindros, número de válvulas…). Todas las medidas deben estar expresadas en mm con precisión de centésimas de mm.

Deformación plano de junta de la culata con el bloque	
Deformación plano de junta de la culata con el colector de admisión	
Deformación plano de junta de la culata con el colector de escape	

Medida de cotas de válvulas	Diámetro cabeza		Diámetro cola		Longitud	
	Admisión	Escape	Admisión	Escape	Admisión	Escape
Fabricante						
Cilindro 1						
Cilindro 2						
Cilindro 3						
Cilindro 4						

Cilindro	Holgura cola – guía de válvula	
	Admisión	Escape
1		
2		
3		
4		

Excentricidad del apoyo central del árbol de levas admisión	
Excentricidad del apoyo central del árbol de levas escape	
Holgura axial del árbol de levas admisión	
Holgura axial del árbol de levas escape	

Cilindro	Alzado de las levas	
	Admisión	Escape
1		
2		
3		
4		

Apoyo	Diámetro nominal	Diámetro árbol de levas		Diámetro cojinete			Juego
		A	B	A	B	Ovalamiento	
1							
2							
3							
4							
5							

© Ediciones Paraninfo

Apoyo		1		2		3		4		5	
Extremo	Diámetro	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento
1	A										
	B										
2	A										
	B										
Conicidad A											
Conicidad B											

Cojinete de apoyo		1		2		3		4		5	
Extremo	Diámetro	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento
1	A										
	B										
2	A										
	B										
Conicidad A											
Conicidad B											

Muñequilla		1		2		3		4	
Extremo	Diámetro	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento
1	A								
	B								
2	A								
	B								
Conicidad A									
Conicidad B									

Cojinete muñequilla		1		2		3		4	
Extremo	Diámetro	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento
1	A								
	B								
2	A								
	B								
Conicidad A									
Conicidad B									

Elemento	Apoyo 1	Apoyo 2	Apoyo 3	Apoyo 4	Apoyo 5
Resultado plastigage					

Elemento	Muñequilla 1	Muñequilla 2	Muñequilla 3	Muñequilla 4
Resultado plastigage				

Excentricidad del apoyo central del cigüeñal	
Holgura axial del cigüeñal	

© Ediciones Paraninfo

Alabeo del volante de inercia	

Deformación plano de junta del bloque con la culata	

Cilindro	Espesor segmentos			Juego con alojamiento			Separación entre puntas		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1									
2									
3									
4									

Cilindro	Diámetro del pistón	
	Diámetro A	Diámetro B
1		
2		
3		
4		

Cilindro		1		2		3		4	
Altura	Diámetro	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento	Medida	Ovalamiento
1	A								
	B								
2	A								
	B								
Conicidad A									
Conicidad B									

INVESTIGA

5.12. Buscar los manuales de taller de diferentes vehículos: con motor delantero transversal, con motor delantero longitudinal, con cuna de motor, sin cuna de motor y de un todoterreno. Hacer un resumen de los procedimientos de extracción del motor.

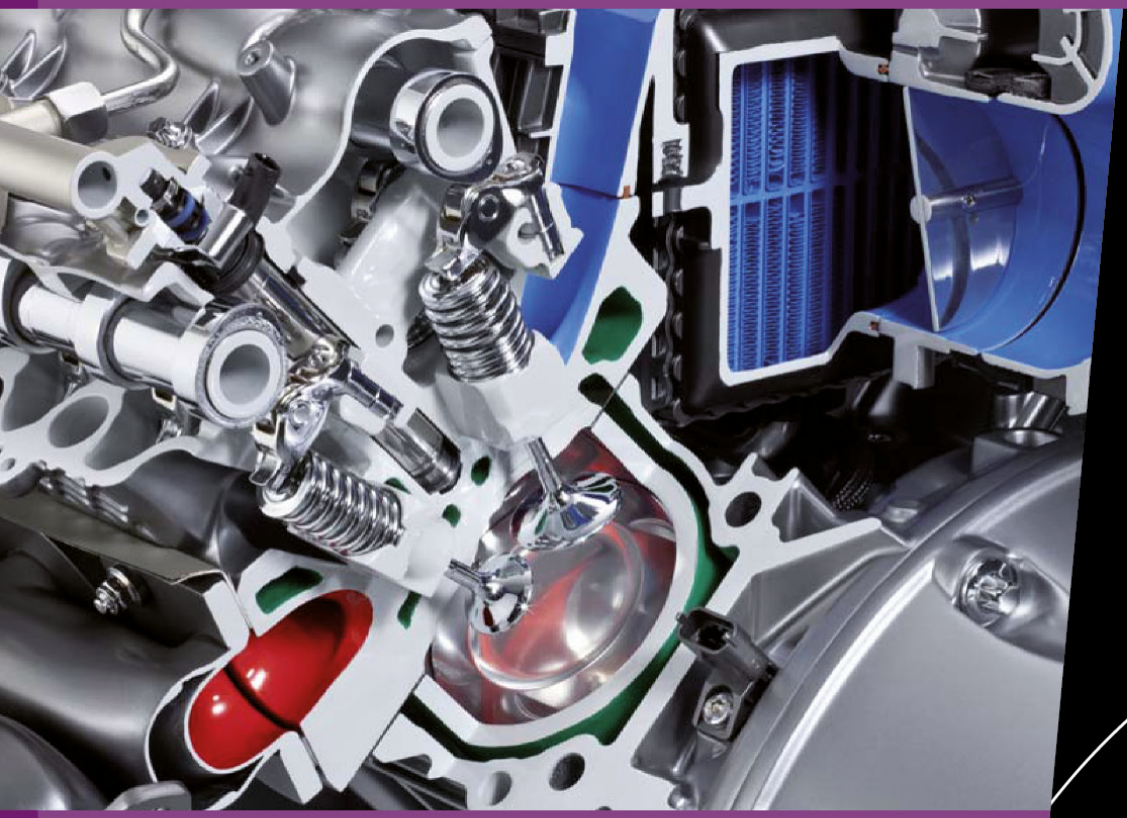
5.13. Comprobar la compresión de un motor que pueda ser movido por el motor de arranque con un compresómetro, comparando las medidas obtenidas con las del fabricante, en cuanto a magnitud y diferencia entre cilindros.

5.14. Hacer un informe de los pasos a seguir en caso de tener que hacer un rectificado del cigüeñal, indicando las sobremedidas disponibles y teniendo en cuenta los juegos de montaje.

5.15. Realizar el calado de la distribución en un motor con disposición de cilindros en V y con doble árbol de levas en cada culata.

© Ediciones Paraninfo

La renovación de la carga



6

CONTENIDOS

6.1. La renovación de la carga
6.2. Rendimiento volumétrico
6.3. La renovación de la carga en motores de dos y cuatro tiempos
6.4. Sistemas para optimizar el llenado en motores de cuatro tiempos
6.5. El sistema de escape en motores de cuatro tiempos

OBJETIVOS

- Comprender la necesidad de tener sistemas que lleven a cabo la renovación de la carga en motores térmicos.
- Conocer el concepto de rendimiento volumétrico y los factores que influyen en él.
- Analizar las diferentes soluciones adoptadas por los fabricantes para mejorar el rendimiento volumétrico en motores de cuatro tiempos.
- Describir el funcionamiento de los sistemas más utilizados para optimizar el llenado de los cilindros.

La renovación de la carga es el proceso en el cual se intercambian los gases quemados tras la combustión por mezcla sin quemar, en motores Otto, o aire, en motores diésel.

En el diseño de un motor es de vital importancia el estudio de todos los sistemas que intervienen en el llenado del cilindro, ya que afecta de manera directa a su rendimiento.

A lo largo de este capítulo se hará un breve repaso de los procesos de renovación de la carga en los motores de dos y cuatro tiempos, explicando posteriormente los diferentes sistemas que han ido incorporando los fabricantes para optimizar el llenado de los cilindros con el fin de obtener las mejores prestaciones posibles a cualquier régimen, minimizar los consumos y reducir las emisiones contaminantes.

6.1. La renovación de la carga

La renovación de la carga es el proceso en el cual se evacuan los gases quemados durante la fase de escape y se introducen gases frescos en la fase de admisión, ya sea mezcla de aire y combustible en el caso de los motores de ciclo Otto o aire en el de los motores de ciclo diésel, con el fin de repetir el proceso termodinámico que tiene lugar en el motor.

Retomando el diagrama real de un motor de ciclo Otto, mostrado en la Figura 6.1, la renovación de la carga se produce a lo largo de las líneas de admisión y de escape, dando lugar al lazo de bombeo (1). Las áreas comprendidas bajo las curvas de un diagrama *P-V* definen un trabajo. El trabajo de bombeo se considera negativo, es decir, hay que incluirlo en las pérdidas mecánicas y restárselo al trabajo positivo (2), encerrado entre las curvas de compresión y combustión-expansión.

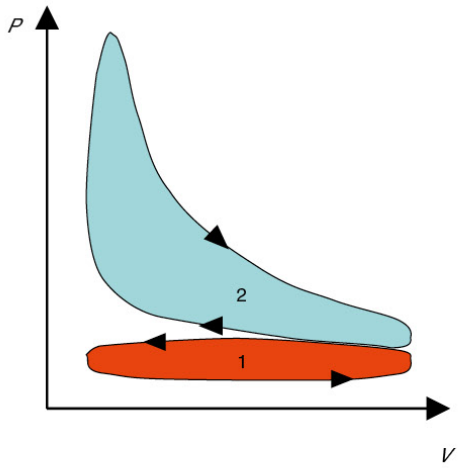


Figura 6.1. *Diagrama real de un motor de ciclo Otto de cuatro tiempos.*

Recuerda que...

La fase de combustión-expansión es la única que genera trabajo en un motor de combustión interna alternativo.

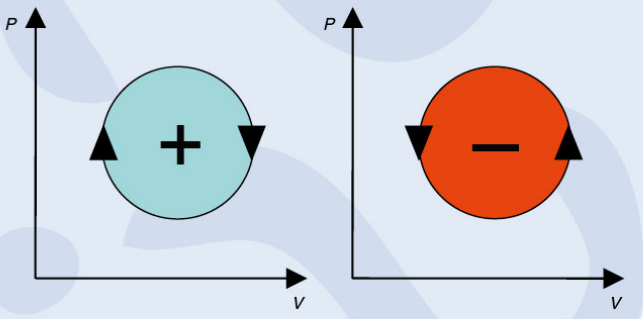
Hay que recordar que en el diagrama teórico de un motor de cuatro tiempos el proceso de renovación de la carga se representa por una línea recta, asociada a una presión constante, la atmosférica, no existiendo en este caso trabajo de bombeo al no haber área que encerrar. Pero esto no era posible por las restricciones que ofrecen al paso del fluido las válvulas de admisión y escape, así como las pérdidas de carga a lo largo del conducto de admisión y la línea de escape, entre otros factores. Además hay que recordar que la regulación de la carga en los motores de gasolina se lleva a cabo mediante el movimiento de la mariposa de gases (salvo en modernas y muy contadas tecnologías que no la incorporan), que a cargas parciales ofrece una gran restricción al paso del fluido de admisión. Este último efecto no se da en los motores diésel al no llevar mariposa de gases para regular la carga.

Según lo expuesto anteriormente, se puede intuir la necesidad de reducir las pérdidas de bombeo, ya que si en la admisión se parte de una presión inferior a la teórica, la presión al final de la compresión también será menor y, por tanto, se reducirá la presión máxima de combustión, disminuyendo el área encerrada por las curvas de compresión y combustión-expansión, y con ello el trabajo positivo, afectando al par y a la potencia.

El objetivo será pues reducir al máximo las pérdidas por bombeo y conseguir el mejor llenado de los cilindros. La calidad del llenado se puede medir a través de un parámetro objetivo, el rendimiento volumétrico, el cual se va a definir a continuación.

Sabías que...

En un diagrama *P-V* el área definida por una línea cerrada representa un trabajo. Si la línea se recorre en el sentido de las agujas del reloj, el trabajo es positivo, si se recorre en sentido contrario, es negativo.



6.2. Rendimiento volumétrico

El rendimiento volumétrico (η_V) representa la eficiencia del llenado de los cilindros y se define como la relación entre la masa de mezcla o aire fresco que entra en el motor por ciclo y la que llenaría la cilindrada en unas condiciones de presión y temperatura de referencia, expresada en tanto por ciento.

$$\eta_V = \frac{\text{Masa de aire admitida real}}{\text{Masa de aire que se admitiría teóricamente}} \cdot 100$$

© Ediciones Paraninfo

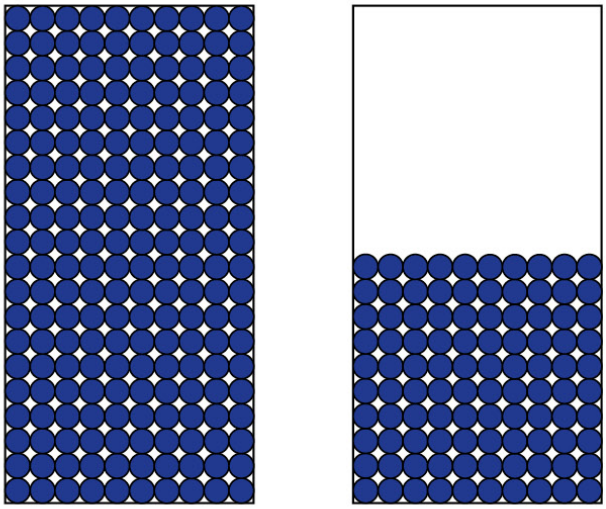


Figura 6.2. *Representación esquemática del concepto de rendimiento volumétrico, a la izquierda un rendimiento volumétrico del 100 % y a la derecha del 50 %.*

La Figura 6.2 muestra el concepto de la relación anterior, es decir, suponiendo que se tienen dos recipientes iguales que representan el volumen del cilindro, a la izquierda se tiene que el cilindro se ha llenado de mezcla o aire en todo su volumen, con lo cual el rendimiento volumétrico sería del 100 %, y a la derecha se tiene que el cilindro se ha llenado hasta la mitad, con lo cual el rendimiento volumétrico sería del 50 %.

Matemáticamente, el rendimiento volumétrico se expresa de la siguiente forma:

$$\eta_V = \frac{\dot{m}_a}{V_T \cdot n \cdot i \cdot \rho_{\text{ref}}} \cdot 100$$

Donde:

η_V es el rendimiento volumétrico, expresado en %.

$\dot{m}_a$ es la masa de aire real admitida por unidad de tiempo, en kg/s.

V_T es la cilindrada del motor, en m^3.

n es la velocidad de giro del motor, en rev/s.

i es el número de ciclos por vuelta, siendo 1/2 para motores de cuatro tiempos y 1 para motores de dos tiempos.

ρ_{ref} es la densidad de la masa de mezcla o aire fresco medida en las condiciones de referencia, en kg/m^3.

Recuerda que...

Los rendimientos son adimensionales, es decir, no tienen unidades.

Actividad resuelta 6.1

Calcular el rendimiento volumétrico de un motor de 4 tiempos de 2000 cm^3 de cilindrada total, sabiendo que está admitiendo una masa de aire de 0,076 kg/s mientras gira a 4200 rpm. Dato: la densidad del aire es de 1,17 kg/m^3.

Solución:

Con los datos del problema, basta con sustituir en la fórmula del rendimiento volumétrico, teniendo en cuenta que los cm^3 hay que pasarlos a m^3 y las rpm hay que pasarlas a revoluciones por segundo.

$$2000\ [\text{cm}^3] \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{cm}^3}\right] = 2 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3$$

$$4200 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right] \cdot \frac{1}{60} \left[\frac{\text{min}}{\text{s}}\right] = 70\ \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

Por tanto:

$$\eta_V = \frac{\dot{m}_a}{V_T \cdot n \cdot i \cdot \rho_{\text{ref}}} \cdot 100$$

$$\eta_V = \frac{0{,}076 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]}{2 \cdot 10^{-3}[\text{m}^3] \cdot 70 \left[\frac{\text{rev}}{\text{s}}\right] \cdot \frac{1}{2} \left[\frac{\text{ciclo}}{\text{rev}}\right] \cdot 1{,}17 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]} \cdot 100$$

$$\eta_V = 92{,}80\ \%$$

Luego el rendimiento volumétrico en este caso será del 92,80 %.

A continuación se van a enumerar los factores más importantes que afectan al rendimiento volumétrico, y que por tanto influyen en el llenado del motor:

- **Régimen de giro:** como muestra la Figura 6.3, si se representa el rendimiento volumétrico en función del régimen de giro del motor, puede observarse que tiene un máximo, que coincide con el punto óptimo de funcionamiento del motor, es decir, con el par máximo. Dado

Sabías que...

En realidad, para calcular el rendimiento volumétrico en un motor de ciclo Otto habría que tener en cuenta que la masa de fluido admitida es una mezcla de aire y gasolina, pero si se supone que todo es aire se consigue una muy buena aproximación facilitando los cálculos. Por tanto, se puede decir que la fórmula del rendimiento volumétrico se cumple para los motores diésel, ya que admiten aire, y es prácticamente válida para los motores de ciclo Otto.

© Ediciones Paraninfo

un sistema de distribución fijo, a escasas revoluciones la velocidad del fluido es demasiado baja y no hay tiempo para que la vena de gas entre y llene el cilindro adecuadamente. A altas revoluciones, la velocidad del fluido es muy elevada y aumentan las pérdidas por fricción debido a la restricción que ofrecen las secciones de paso de las válvulas.

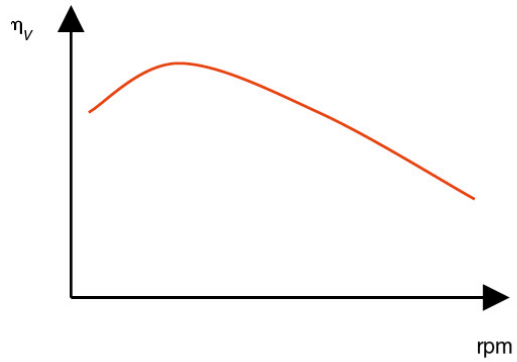


Figura 6.3. *Gráfica que expresa el rendimiento volumétrico en función del régimen de giro del motor.*

- **Grado de admisión:** es la estrangulación que se ejerce sobre la corriente entrante de fluido mediante la mariposa de gases, representada en la Figura 6.4. Como es evidente, es un factor característico de los motores de encendido provocado. Experimentalmente se demuestra que a bajos grados de carga hay una relación proporcional entre la variación del rendimiento volumétrico y la variación de presión antes y después de la mariposa de gases.

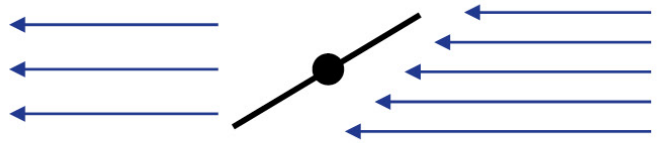


Figura 6.4. *Representación de la estrangulación del fluido de admisión a su paso por la mariposa de gases.*

- **Forma y secciones de paso de las válvulas:** como ya se ha dicho anteriormente, las válvulas ofrecen una restricción al paso de gases, dada la diferencia existente entre la sección del pistón y la sección de paso de las válvulas, como se esquematiza en la Figura 6.5. La sección de paso se conoce como área geométrica descubierta y depende del diámetro de la válvula, de su alzado y de la forma de su asiento. Como ya es sabido, la válvula de admisión es la más crítica desde el punto de vista de restricción al paso de gases, por lo que es de mayor tamaño que la de escape.

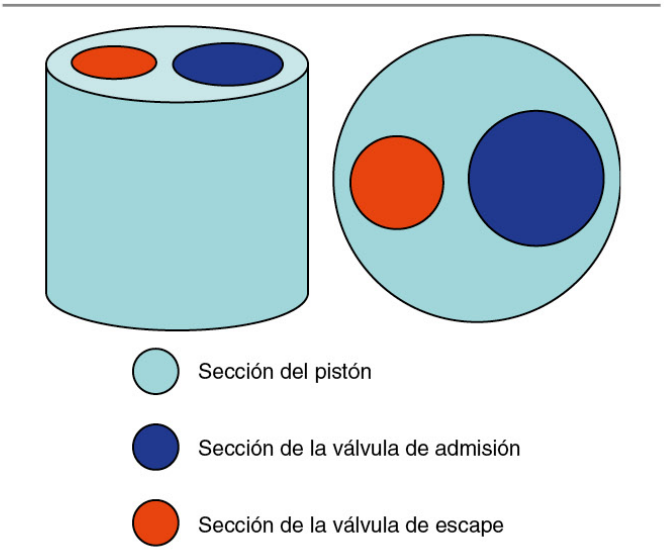


Figura 6.5. *Esquema que muestra la diferencia de secciones entre el pistón y las válvulas.*

- **Colector de admisión:** una correcta geometría del colector de admisión puede mejorar notablemente el rendimiento volumétrico aprovechando dos fenómenos inherentes al fluido que recorre el conducto de admisión: la inercia y los efectos pulsatorios. Más adelante se van a tratar los sistemas de admisión variable, por lo que la explicación pormenorizada de estos fenómenos se reserva para entonces.
- **Diagrama de distribución:** con lo explicado hasta ahora acerca de los procesos de renovación de la carga en motores térmicos, resulta fácil deducir que el diagrama de distribución juega un papel protagonista a la hora de optimizar el rendimiento volumétrico. Los avances y retrasos en la apertura y cierre de válvulas ayudan a mejorar el llenado y reducir el trabajo de bombeo, optimizando el comportamiento del motor a un régimen y nivel de carga determinados. Pero actualmente, dadas las exigencias en materia de prestaciones, consumos y emisiones contaminantes se hace necesario optimizar el funcionamiento del motor en el rango de utilización más amplio posible. Para ello, los fabricantes han implementado diferentes sistemas de distribución variable, que dado su número e importancia, merecen ser tratados de manera detallada más adelante.

6.3. La renovación de la carga en motores de dos y cuatro tiempos

A lo largo de este libro, se da prioridad a los motores policilíndricos de cuatro tiempos a la hora de explicar

© Ediciones Paraninfo

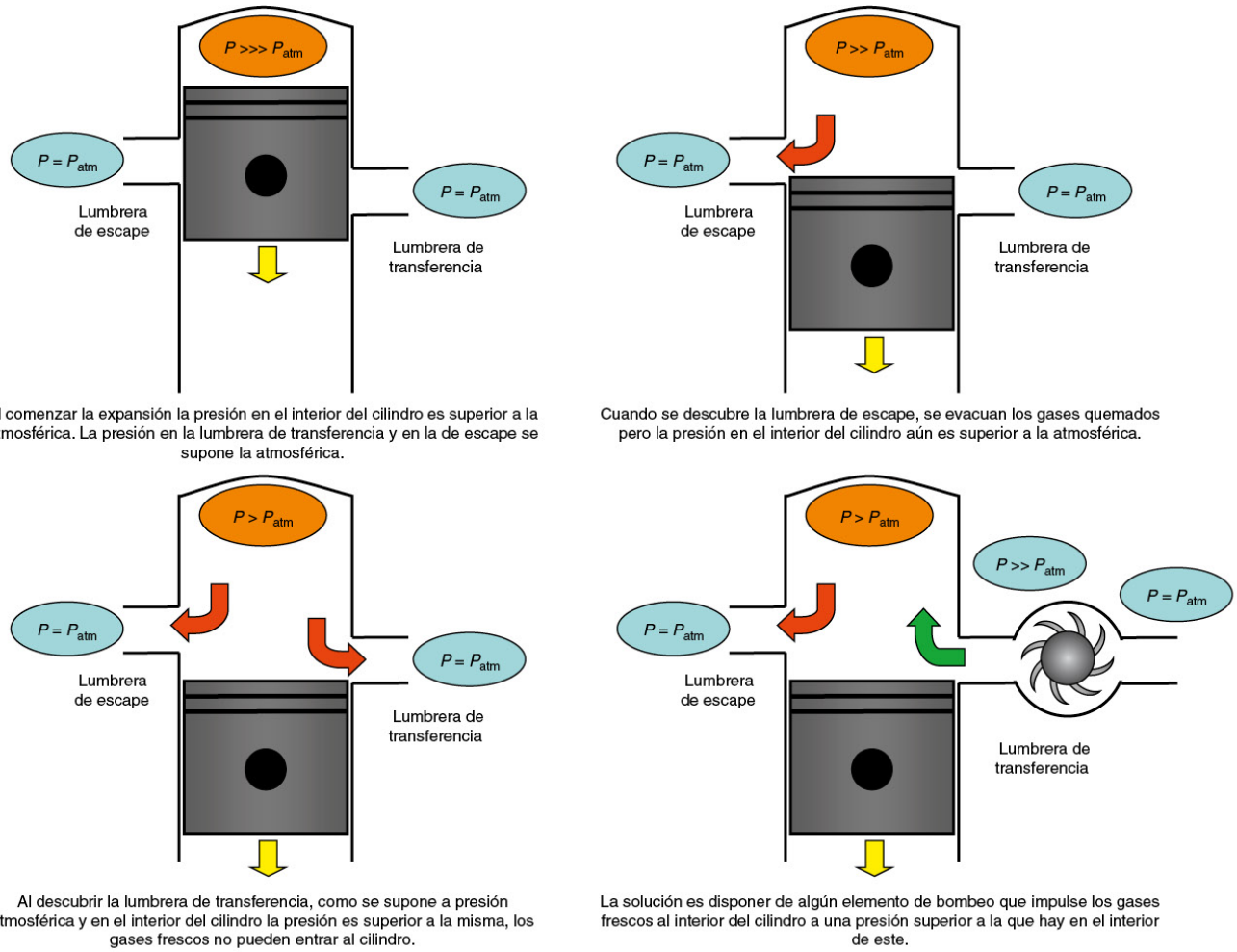


Figura 6.6. *Justificación de la necesidad de instalar algún sistema de bombeo en motores de dos tiempos.*

su constitución, funcionamiento y parámetros característicos, dado que este tipo de motores son los que de forma mayoritaria se van a encontrar los futuros profesionales del sector de la automoción, pero merece la pena hacer un breve repaso a la forma que tienen los motores de dos tiempos de llevar a cabo la renovación de la carga y compararla con la de los motores de cuatro tiempos.

En los motores de dos tiempos, el llenado del cilindro es muy poco eficiente al no disponer de sistema de distribución, salvo en el caso de los diésel de dos tiempos lentos, que suelen incorporar una válvula de escape con el fin de evitar la salida de aire de admisión y conseguir el mejor llenado posible. Al ser los motores de dos tiempos de encendido provocado los más utilizados, la explicación se centrará en dichos propulsores.

La renovación de la carga en motores de dos tiempos se lleva a cabo mediante un proceso de barrido, es decir, los gases frescos empujan a los gases quemados y les ayuda a salir por el escape. Al no tener sistema de distribución, el intercambio de gases es controlado por el propio pistón al descubrir las lumbreras. Al descender el pistón tras la combustión, la presión en el interior del cilindro es muy superior a la atmosférica, se descubre la lumbrera de escape, comunicada con el exterior, y se produce un escape libre. Pero surge un problema adicional, el pistón sigue descendiendo y descubre la lumbrera de transferencia, la presión en el cilindro todavía es elevada y no se produce la depresión necesaria para realizar la admisión. La Figura 6.6 muestra este fenómeno gráficamente y permite deducir que la admisión en los motores de dos tiempos no es posible sin disponer de algún sistema que «bombee» la mezcla admitida al interior del cilindro. De esta forma, además de conseguir el llenado del cilindro, los gases frescos «barren» o empujan a los quemados facilitando su evacuación.

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

Para evitar el efecto de cortocircuito se diseñan escapes resonantes. Los gases de escape se comportan como una onda de presión que rebota en un punto determinado de la línea de escape, estudiado para conseguir el par máximo a un régimen determinado. Cuando la onda rebota en ese punto, retrocede y empuja los gases frescos que ya están en el escape hacia el cilindro para que puedan ser quemados.

El proceso de barrido trae consigo otro inconveniente, y es que al estar enfrentadas las lumbreras de transferencia y escape, hay un periodo de tiempo en el que ambas lumbreras permanecen abiertas y se pierde parte de los gases frescos, produciéndose el fenómeno de cortocircuito, mostrado en la Figura 6.7. Además, si el pistón es el único elemento que sincroniza y controla la admisión y el escape, obliga a tener diagramas de distribución simétricos que favorecen este indeseado fenómeno.

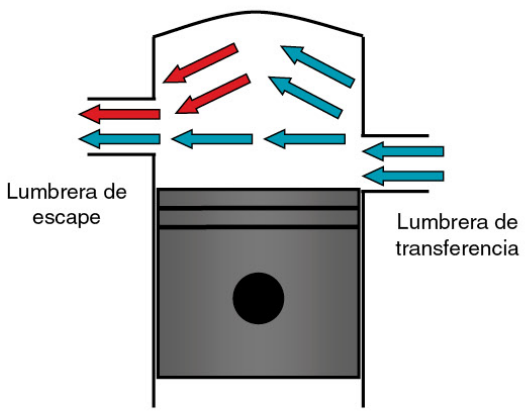


Figura 6.7. *Fenómeno de cortocircuito.*

Sabías que...

En los motores diésel de dos tiempos es necesario un sistema de bombeo independiente porque:

- Si no, su llenado sería muy defectuoso al ser motores que trabajan con exceso de aire.
- Al tener que soportar grandes cargas en las muñequillas y apoyos del cigüeñal hay que intensificar la lubricación, y con un barrido por cárter habría que aumentar la proporción de aceite en la mezcla y ello traería consigo un consumo excesivo de aceite, dificultaría la combustión y generaría depósitos de carbonilla.

Con lo cual, para poder realizar la renovación de la carga en un motor de dos tiempos de la forma más eficiente hay que cumplir los siguientes requisitos:

- **Disponer de un elemento de bombeo:** en los motores de dos tiempos de gasolina el elemento de bombeo más común es el propio pistón, al realizar su carrera descendente, generando la precompresión en el cárter, ya estudiada en el Capítulo 2, que permite que los gases frescos tengan una presión superior a la que hay en el interior del cilindro cuando el pistón descubre la lumbrera de transferencia, facilitando su entrada en el mismo. Este método es conocido como *barrido por cárter*. Otro sistema es el de *barrido independiente o asistido*, típico de los motores diésel de dos tiempos, que consiste en instalar un elemento de bombeo que no es el propio pistón, ya sea un compresor mecánico o un turbocompresor.
- **Conseguir la mayor turbulencia dentro del cilindro:** como ya es sabido, una buena turbulencia favorece el llenado y ayuda a homogeneizar la mezcla del cilindro. Para conseguir esto se puede hacer que el barrido siga diferentes trayectorias:
  - **Transversal:** consiste en disponer las lumbreras de admisión y escape de forma diametralmente opuesta. Uno de los parámetros más críticos es el ángulo de salida de las lumbreras de admisión, a fin de poder barrer la totalidad del cilindro, como muestra la Figura 6.8. Para este tipo de barrido se suelen montar pistones con deflector para orientar la mezcla hacia la cámara de combustión, mejorar el barrido y reducir la pérdida de gases frescos por el escape.

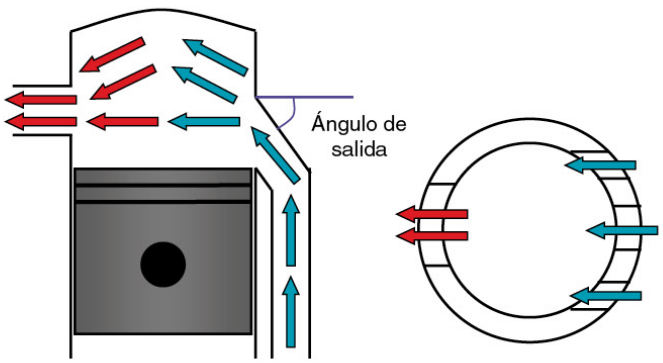


Figura 6.8. *Barrido transversal.*

  - **Por lazo:** se trata de situar las lumbreras de admisión de forma opuesta para forzar la trayectoria de los gases frescos hacia la parte alta del cilindro antes de acabar en la lumbrera de escape tras ser quemados, según la Figura 6.9. Este barrido es más eficiente que el transversal.

© Ediciones Paraninfo

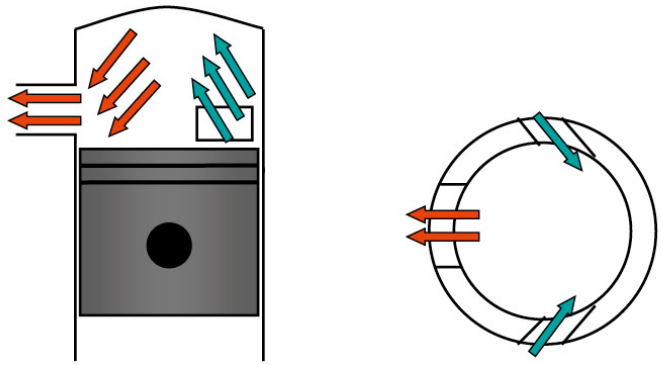


Figura 6.9. *Barrido por lazo.*

– **Equicorriente o uniflujo:** este tipo es la que consigue el barrido más perfecto al situar la entrada y la salida de gases en extremos opuestos del cilindro, como muestra la Figura 6.10. El problema es que obliga a tener algún sistema de distribución que sincronice la apertura del escape, siendo esta una solución muy adoptada en motores diésel dada la forma de torbellino que adopta la trayectoria del aire de admisión, necesaria para motores de inyección directa.

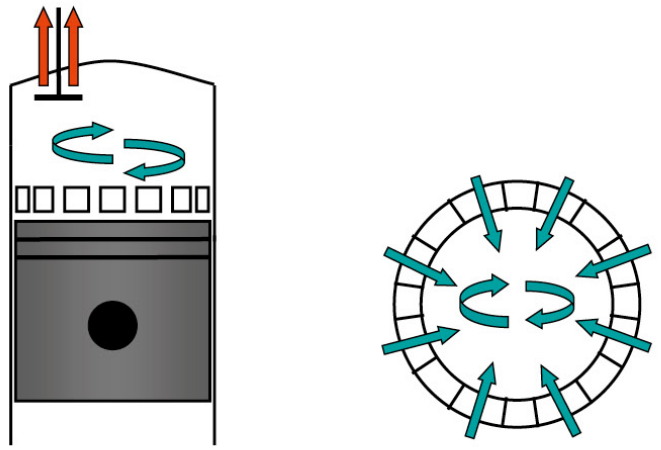


Figura 6.10. *Barrido equicorriente o uniflujo.*

- **Independizar el diagrama de distribución con respecto al movimiento del pistón:** si el pistón es el único elemento que sincroniza la entrada y salida de gases en el cilindro, se tiene un diagrama de distribución simétrico donde, evidentemente y según muestra la Figura 6.11, el escape cierra después que la admisión, provocando el fenómeno de cortocircuito y perdiendo parte de la mezcla fresca. Sin embargo, se puede minimizar este fenómeno empleando sistemas que, sin llegar a ser sistemas de distribución convencionales del tipo de los motores de cuatro tiempos, puedan independizar la apertura y cierre de las lumbreras del movimiento del pistón y generar

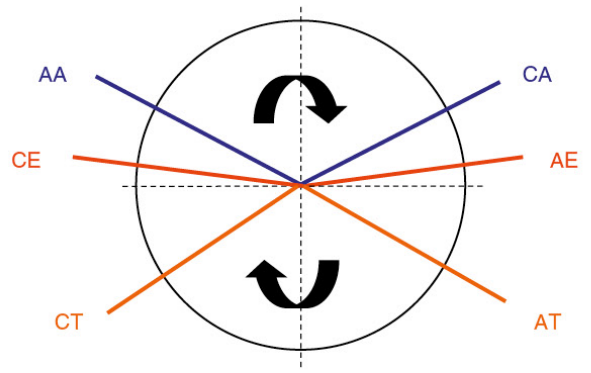


Figura 6.11. *Diagrama de distribución simétrico (AA y CA: Apertura y Cierre de la Admisión; AT y CT: Apertura y Cierre de la Transferencia; AE y CE: Apertura y Cierre del Escape).*

diagramas de distribución asimétricos como el mostrado en la Figura 6.12.

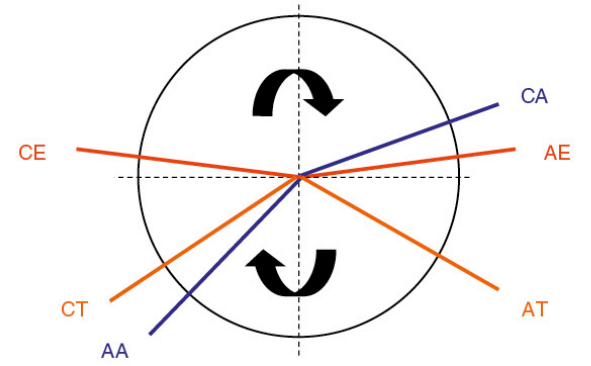


Figura 6.12. *Diagrama de distribución asimétrico (AA y CA: Apertura y Cierre de la Admisión; AT y CT: Apertura y Cierre de la Transferencia; AE y CE: Apertura y Cierre del Escape).*

Los sistemas más empleados son:

– **Válvulas rotativas en la admisión o en el escape:** siendo las más empleadas las de admisión (Figura 6.13). Permiten controlar el momento exacto de la apertura y cierre de la admisión, mejorando el método de control por falda del pistón convencional, pero tienen el inconveniente de que se optimiza el rendimiento del motor para un régimen de giro muy estrecho. Se han llegado a montar válvulas rotativas de avance variable pero se ha descartado su uso dada la complejidad mecánica del sistema.
– **Admisión por láminas:** en este caso se dispone de una caja de láminas (Figura 6.14) que permite la entrada de gases de admisión al cárter pero no su salida. Su funcionamiento es el de una válvula simple, como muestra la Figura 6.15, permitiendo el paso del fluido

© Ediciones Paraninfo

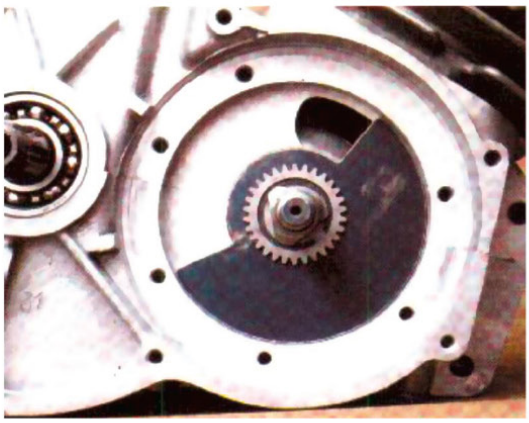


Figura 6.13. *Válvula de admisión rotativa.*

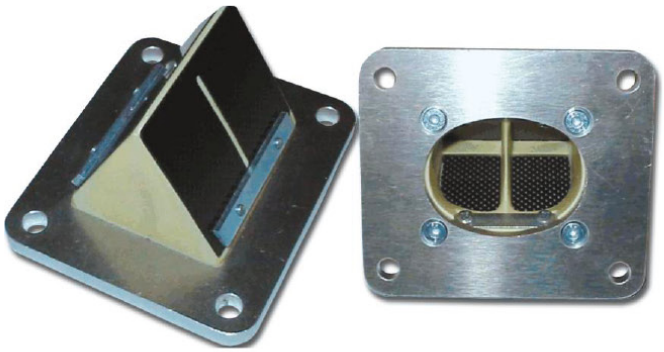


Figura 6.14. *Caja de láminas.*

en un sentido pero no en otro, mediante el efecto de la presión o depresión en el cárter. Este sistema consigue optimizar el funcionamiento del motor en un rango de vueltas más amplio, otorgándole una mayor elasticidad y respuesta a bajo y medio régimen, ya que su reglaje varía conforme al régimen de giro de forma automática. Aun así presentan el problema de que tienen que ser muy flexibles para que a regímenes de vueltas elevados puedan abrir y cerrar rápidamente. Para conseguir un equilibrio, en realidad se estudia el efecto de resonancia que tienen las láminas para poder ser eficientes a las revoluciones de potencia máxima.

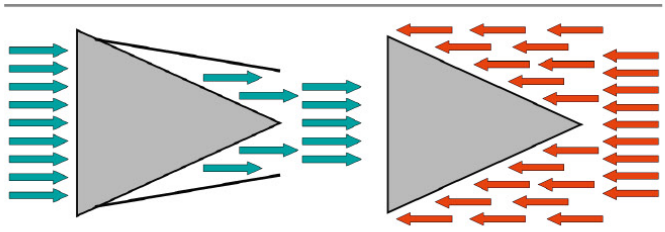


Figura 6.15. *Principio de funcionamiento de un sistema de admisión por láminas (solo permite el paso del fluido en un sentido).*

6.4. Sistemas para optimizar el llenado en motores de cuatro tiempos

Dado que los motores de cuatro tiempos policilíndricos son los más usados en automoción y que, desde el punto de vista de la renovación de la carga son los que han sufrido una evolución más acusada, hay que dedicar un apartado a la descripción de las diferentes soluciones que los fabricantes han adoptado para mejorar el rendimiento de sus motores en cuanto al llenado se refiere.

6.4.1. Colectores de admisión variable

La geometría del colector de admisión influye enormemente en el rendimiento volumétrico. Los colectores convencionales, de geometría fija, normalmente se diseñan para optimizar el llenado a un régimen de giro del motor determinado, que suele ser el de par máximo, pudiendo tener un rendimiento volumétrico en ese punto incluso superior a la unidad. Para conseguir esto, hay que «sintonizar» el colector de admisión de manera que se consiga una sobrealimentación por tubo de reverberación, como se muestra en la Figura 6.16. Según dicha figura, al abrir la válvula de admisión se provoca una onda depresiva o de rarefacción (1), que se propaga a lo largo del tubo de reverberación (2), que comunica con el «tubo colectivo». Teniendo en cuenta que la presión en dicho tubo es más o menos la atmosférica y que la existente en el tubo de reverberación es inferior a la misma, los gases frescos son arrastrados en forma de onda expansiva hacia la válvula de admisión (3), que aún permanece abierta. De esta forma se produce una sobrealimentación que puede ofrecer rendimientos volumétricos superiores a la unidad (4).

Las ondas depresivas y expansivas viajan siempre a la misma velocidad, que es la velocidad del sonido, pero el tiempo de apertura y cierre de las válvulas depende del régimen de giro del motor, por lo que al aumentar las rpm, el tiempo disponible para que entre el fluido de admisión en el cilindro va disminuyendo, con lo cual, con una longitud de tubo de reverberación fija, solo habría un régimen en el que se optimiza el llenado por sobrealimentación. Si el tubo está diseñado para altos regímenes, a bajas vueltas la onda expansiva se encontrará la válvula de admisión cerrada porque ha llegado demasiado pronto. Si el tubo se optimiza para altas rpm, a bajas revoluciones la onda expansiva se volverá a encontrar la válvula de admisión cerrada, pero esta vez porque ha llegado demasiado tarde.

© Ediciones Paraninfo

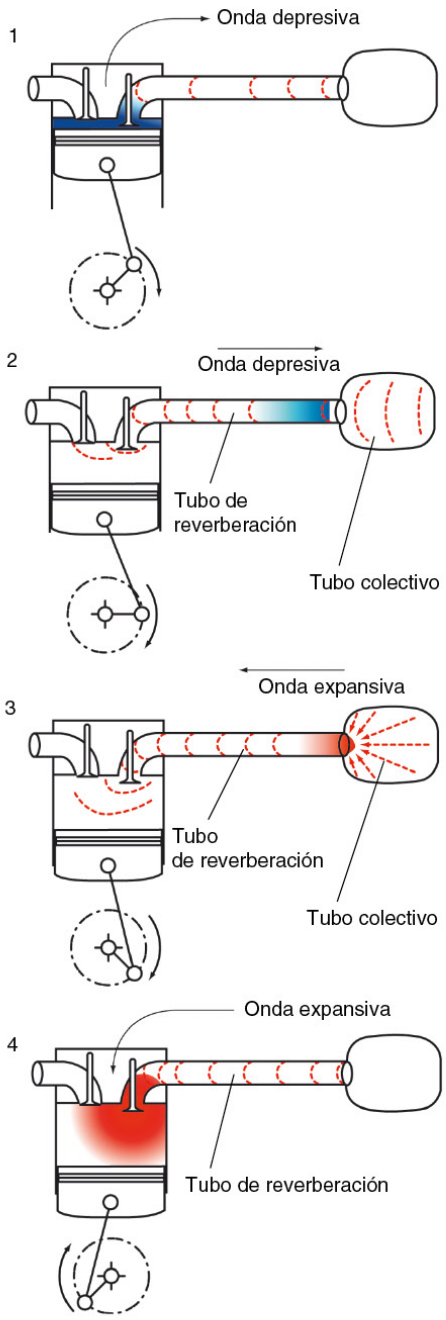


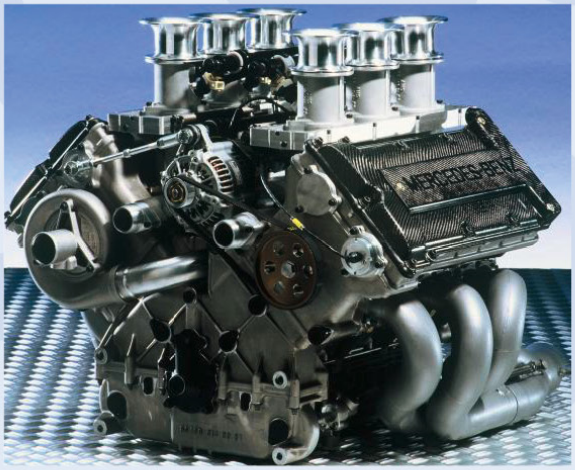
Figura 6.16. *Principio de sintonizado del colector de admisión.*

Como norma general, tubos de reverberación largos y estrechos favorecen el funcionamiento del motor a bajo y medio régimen, es decir, durante la entrega de par. Por otro lado, tubos cortos y anchos mejoran la respuesta del motor a altas revoluciones, durante la entrega de potencia.

A la vista de esto se puede intuir que si se consigue modificar la geometría del colector de admisión, se podrá maximizar el rendimiento del motor en un rango de revoluciones más amplio. Este concepto también es aplicable a los colectores de escape, pero dado que el llenado es más crítico que el escape de gases y que al alcanzarse temperaturas muy elevadas en el colector de escape se hace mecánicamente inviable una solución adaptativa de su geometría, dicho colector se diseña con geometría fija optimizada para un punto de funcionamiento determinado.

Sabías que...

En los motores de Fórmula 1 para conseguir un buen llenado de los cilindros a altas revoluciones se instalan colectores de admisión muy cortos, uno para cada cilindro.



A modo de ejemplo se va a describir el sistema de colector de admisión variable de dos niveles empleado por el grupo VAG en sus motores VR. La Figura 6.17 muestra una vista general del sistema.

Como se puede ver en la Figura 6.17, se tienen los siguientes elementos:

- **Mariposa de gases:** es la encargada de controlar la carga del motor.
- **Tubo colectivo principal:** comunica la mariposa de gases con cada uno de los tubos de reverberación.
- **Tubos de reverberación:** cuya longitud es de un valor óptimo para el número de cilindros del motor.
- **Tubo colectivo de potencia:** realiza la misma función que el tubo colectivo principal pero para el caso de entrega de potencia, como se explicará a continuación.
- **Mando del cilindro distribuidor giratorio:** es el encargado de rotar el cilindro distribuidor giratorio (Figura 6.18) que conmuta los tubos de par y los tubos de potencia.
- **Elemento inferior del colector de admisión:** comunica el colector con los conductos de admisión de la culata.

© Ediciones Paraninfo

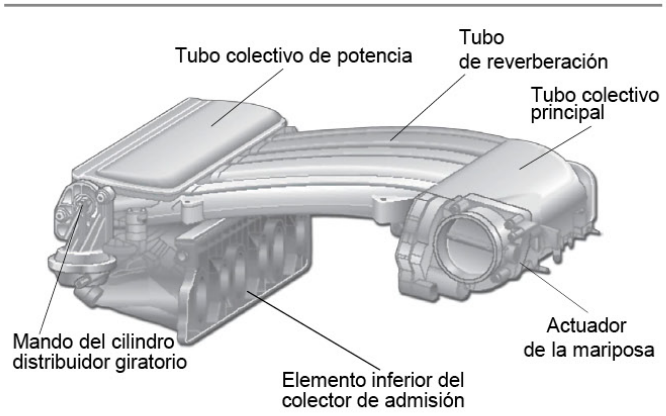


Figura 6.17. *Vista general del sistema de colectores de admisión variable empleado por el grupo VAG en el motor VR6.*

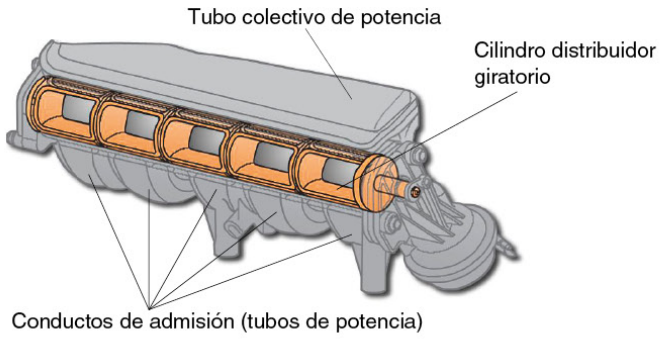


Figura 6.18. *Detalle del cilindro distribuidor.*

A continuación se detalla el funcionamiento del sistema en sus dos posiciones de actuación:

- **Posición de entrega de par:** como se puede apreciar en la Figura 6.19, el cilindro giratorio obtura los tubos de potencia y los gases de admisión realizan el recorrido largo (770 mm), es decir, desde el tubo colectivo principal hasta la válvula de admisión, como muestra la Figura 6.20. De esta forma se obtiene un funcionamiento óptimo del motor entre 1100 y 4000 rpm.

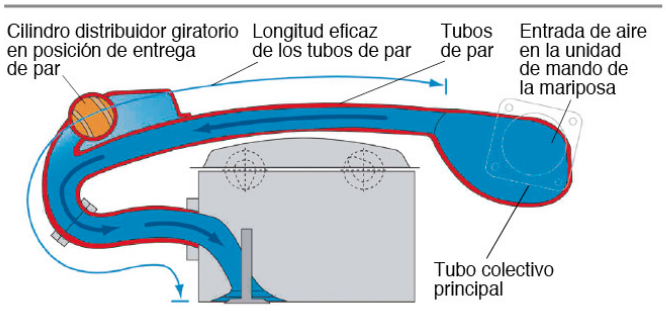


Figura 6.19. *Colector de admisión variable en el modo de entrega de par.*

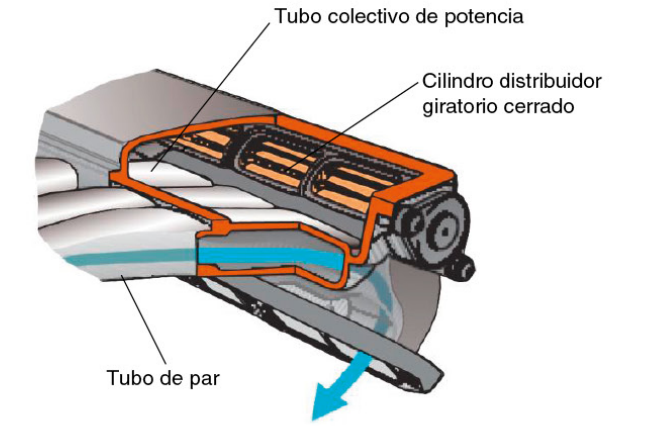


Figura 6.20. *Posición del tubo giratorio y recorrido del aire en el modo de entrega de par.*

- **Posición de entrega de potencia:** en este caso y a la vista de la Figura 6.21, el cilindro giratorio comunica los tubos de potencia con el tubo colectivo de potencia. Este último se carga con el flujo de gases que rebotan en las válvulas de admisión cerradas de los cilindros que están en otra fase que no es la de admisión. Con lo cual al cilindro que está con la válvula de admisión abierta le llega fluido de admisión del tubo colectivo principal y del tubo colectivo de potencia, pero como la onda expansiva se refleja ahora en el tubo colectivo de potencia, su recorrido es más corto (450 mm), es decir, desde el tubo colectivo de potencia hasta la válvula de admisión, como muestra la Figura 6.22. De esta forma se maximiza el funcionamiento del motor entre 4000 y 7000 rpm. Hay que decir que el sistema adopta esta posición para regímenes inferiores a 1100 rpm, es decir, que la posición de potencia es la posición de reposo del sistema y se mantiene a motor parado y al ralentí.

La conmutación entre un modo y otro se lleva a cabo a través de un circuito neumático (Figura 6.23) de vacío. El vacío es generado en el tubo colectivo principal y se acumula en el depósito de vacío. Una válvula de retención se encarga de que el sistema no se descargue. La cápsula de vacío (Figura 6.24) transforma el incremento de vacío en

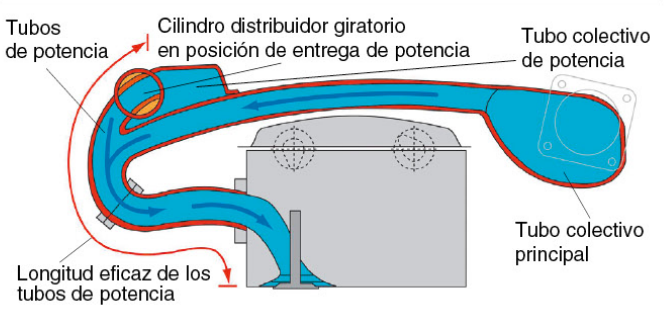


Figura 6.21. *Colector de admisión variable en el modo de entrega de potencia.*

© Ediciones Paraninfo

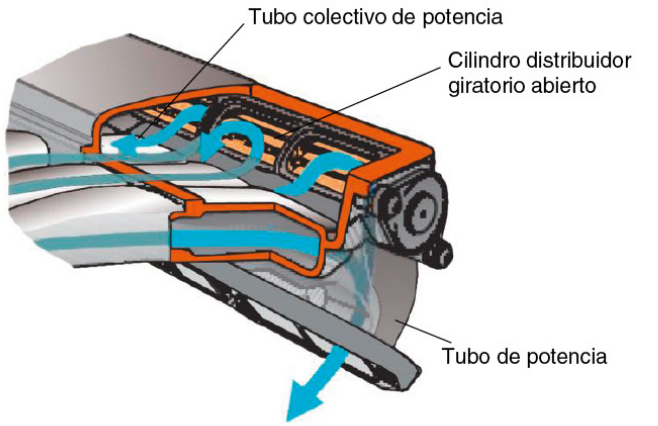


Figura 6.22. *Posición del tubo giratorio y recorrido del aire en el modo de entrega de potencia.*

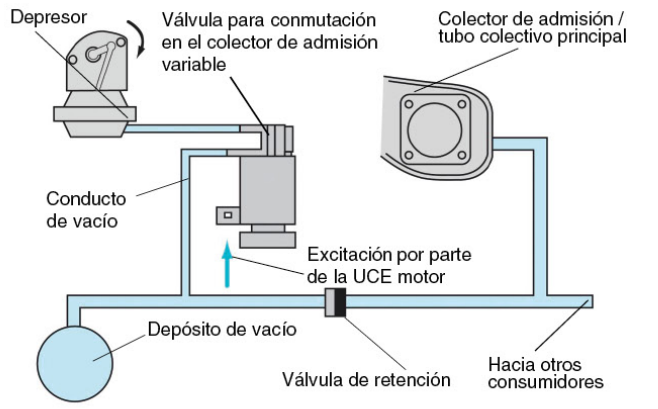


Figura 6.23. *Circuito neumático encargado de controlar la posición del cilindro distribuidor giratorio.*

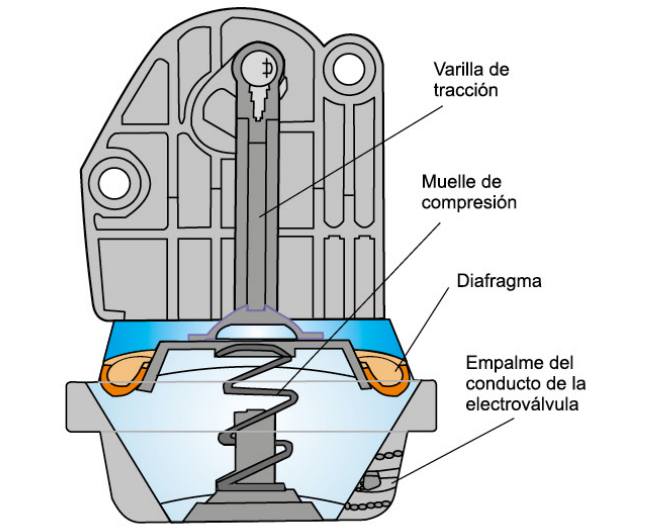


Figura 6.24. *Detalle de la cápsula de vacío.*

un movimiento de la varilla de tracción y con ella del distribuidor giratorio. La cantidad de vacío que le llega a la cápsula es controlada por una electroválvula, que a su vez es comandada por la unidad de control.

Las curvas de par y potencia con la aplicación de este sistema en comparación con otro motor similar que no lo monta son las que aparecen en la Figura 6.25, donde se puede apreciar una clara mejora en la zona de bajo-medio régimen.

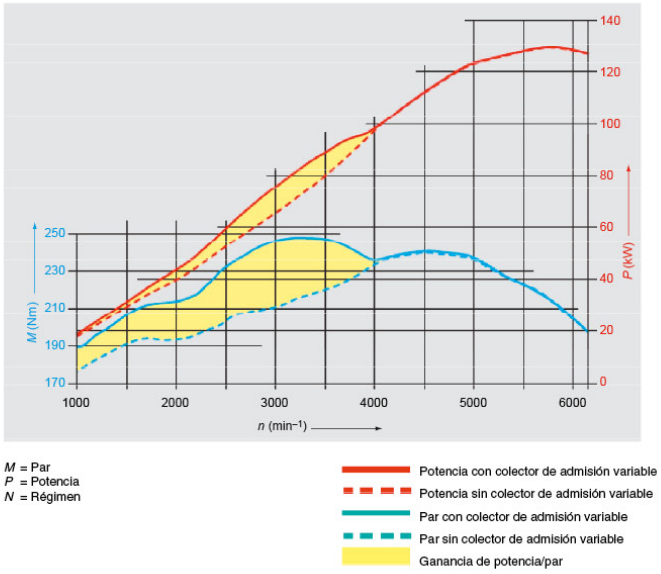


Figura 6.25. *Comparación entre las curvas de par y potencia de un motor que incorpora colector de admisión variable y otro que no.*

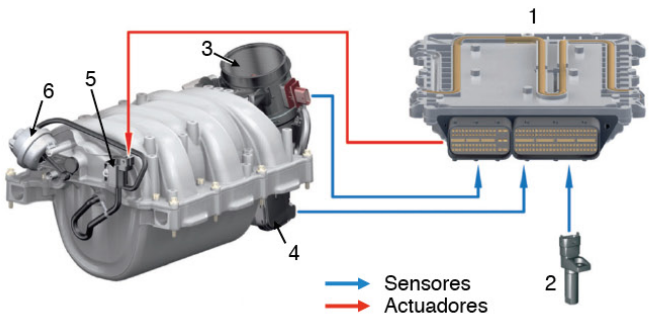
Los colectores de admisión variable son una buena solución para optimizar el llenado del cilindro en una amplia gama de revoluciones de una forma relativamente sencilla. Hay muchos fabricantes que han incorporado estos sistemas en sus motores, con diferentes geometrías y diferentes nombres, pero todos se basan en el mismo principio de funcionamiento.

A continuación se explican otros dos sistemas de admisión variable, uno de dos niveles y otro de tres niveles.

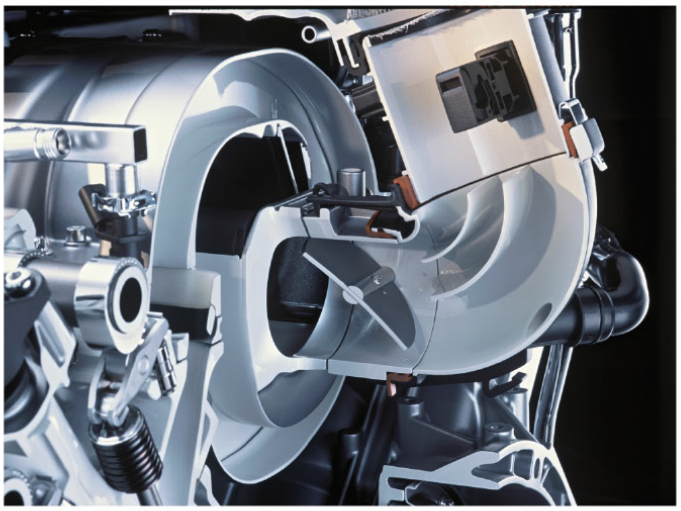
- **Colector de admisión variable de dos niveles:**

La descripción del funcionamiento de este sistema se realiza a la vista de la Figura 6.26, que corresponde a un motor de la marca Mercedes Benz. Para poder conmutar entre el conducto de admisión largo y el conducto de admisión corto, se dispone de una compuerta de regulación para cada cilindro. Las compuertas son accionadas por una cápsula de vacío que es controlada por una electroválvula, a su vez gestionada por la unidad de control del motor. De esta forma, la electroválvula regula la cantidad de vacío aplicado a la válvula neumática, y con ello la posición

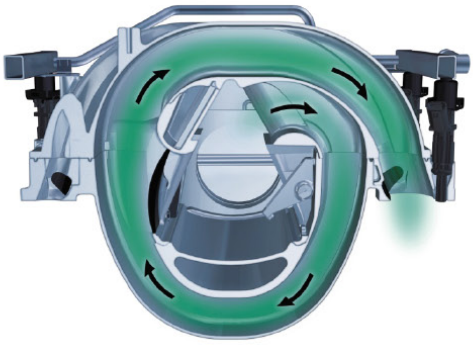
© Ediciones Paraninfo



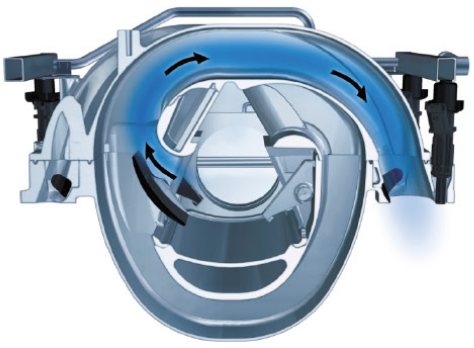
1. Unidad de control del motor.
2. Sensor de régimen de giro.
3. Medidor de la masa de aire.
4. Unidad de la mariposa robotizada.
5. Electroválvula de control de vacío.
6. Válvula neumática.



Detalle de la entrada de aire al colector de admisión a través de la mariposa de gases



Compuerta de regulación cerrada (conducto de admisión largo)



Compuerta de regulación abierta (conducto de admisión corto)

Figura 6.26. *Estructura y funcionamiento de un colector de admisión variable de dos niveles.*

de las compuertas de regulación. Como el sistema utilizado de ejemplo es de un motor V6, los árboles de accionamiento de las compuertas de las dos líneas de cilindros se unen por medio de un mecanismo de varillas. El colector incluye un acumulador de vacío con válvula de retención integrada. El vacío se genera por un depresor movido por el motor, que a su vez suministra vacío al servofreno. Los dos niveles de funcionamiento son los que se explican a seguidamente:

– **Conducto de admisión largo:** la electroválvula es excitada por la unidad de control, permitiendo aplicar vacío a la válvula neumática. Como la membrana de la válvula está unida al mecanismo de accionamiento de las compuertas de regulación, estas adoptan una posición de cierre, venciendo la fuerza de un muelle. De esta forma se genera un conducto de admisión largo para optimizar la zona de par máximo del motor. Este nivel de funcionamiento se produce con una demanda de carga del motor superior al 50% y un régimen de giro inferior a 3500 rpm.

– **Conducto de admisión corto:** la electroválvula no es excitada por la unidad de control y, por tanto, la válvula neumática no tiene vacío aplicado, con lo que las compuertas de regulación permanecen en su posición de reposo. En estas circunstancias, dado que un muelle fuerza a que las compuertas se mantengan abiertas en su posición de reposo, se obtiene un conducto de admisión corto, para condiciones operativas el motor de elevada potencia y régimen de giro.

Normalmente el conducto de admisión corto también se emplea para el funcionamiento del motor a regímenes próximos al de ralentí.

- **Colector de admisión variable de tres niveles:**

Este sistema de admisión variable es capaz de mantener un par motor elevado durante un amplio rango de régimen de giro. La explicación de este sistema se lleva a cabo según la Figura 6.27, que corresponde al colector de

© Ediciones Paraninfo

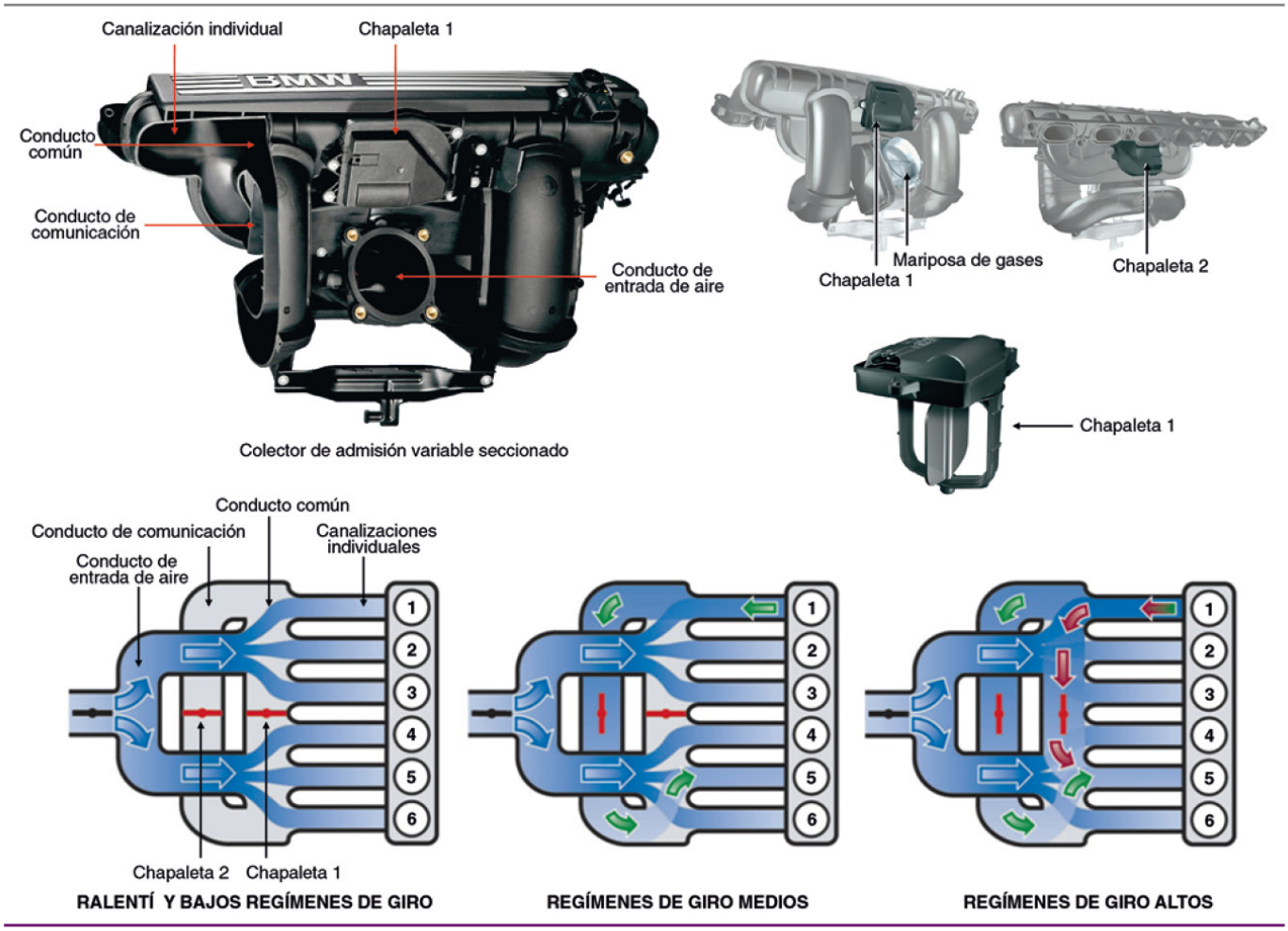


Figura 6.27. *Estructura y funcionamiento de un colector de admisión variable de tres niveles.*

admisión variable de un motor de la marca BMW, de seis cilindros en línea y orden de encendido 1 – 5 – 3 – 6 – 2 – 4. El conjunto del colector de admisión incorpora los siguientes elementos:

- Un conducto de entrada de aire.
- Un conducto común a las canalizaciones individuales para cada cilindro.
- Un conducto de comunicación de los extremos del conducto común.
- Dos chapaletas que regulan el paso de aire.

Cada chapaleta es accionada por un motor eléctrico y un engranaje. En función de las condiciones operativas del motor, la unidad de control del mismo envía una señal de tipo PWM a la unidad de mando de la chapaleta correspondiente, pudiendo tener solo dos posiciones posibles, abierta o cerrada. Por tanto, cada vez que se acciona el motor de la chapaleta, es para pasar a una posición de total apertura o de total cierre.

Con todos los elementos anteriores, el sistema tiene tres niveles de funcionamiento:

- **Ralentí y bajos regímenes de giro:** en estas condiciones de funcionamiento, las dos chapaletas de regulación están cerradas y el fluido entra por el conducto de entrada de aire desde la mariposa de gases hasta el conducto común, y de ahí a las canalizaciones individuales de cada cilindro. Como el conducto de entrada de aire se bifurca, cada salida suministra aire a tres cilindros. Esto sería el equivalente a tener un conducto de admisión largo.

- **Regímenes de giro medios:** en esta fase, la chapaleta 2 de regulación está abierta. Suponiendo que las válvulas de admisión del cilindro 1 se están cerrando, se genera un pico de presión debido al cierre, que es aprovechado por el cilindro que tiene que abrir las válvulas de admisión seguidamente, según el orden de encendido, correspondiendo al cilindro 5. Como la chapaleta 2 está abierta, el rebote de la vena de gas

© Ediciones Paraninfo

procedente del cilindro 1 atraviesa el conducto de comunicación y se pone a disposición de los cilindros 4, 5 y 6. Como el siguiente cilindro en abrir las válvulas de admisión es el 5, este es el que aprovecha esa sobrepresión. Así, sería como disponer de un conducto de admisión de longitud media para la operación del motor a un régimen de giro moderado.

– **Regímenes de giro altos:** en este nivel de funcionamiento, las chapaletas 1 y 2 están abiertas. Volviendo a tomar como referencia el cierre de las válvulas de admisión del cilindro 1, la masa de aire rebota y se dirige hacia el cilindro 5, a través del conducto de comunicación y a través del conducto común. Así, se optimiza el llenado a altas revoluciones, siendo comparable a disponer de un conducto de admisión corto.

Recuerda que...

Los sistemas de accionamiento de los mecanismos de los colectores de admisión variable pueden ser neumáticos o eléctricos.

6.4.2. Distribución multiválvulas

El objetivo de la distribución multiválvulas es conseguir aumentar la sección de paso de las válvulas y así mejorar el rendimiento volumétrico al disminuir las pérdidas de carga. La idea es maximizar la sección de paso en el área disponible de la cámara de combustión, cuya forma debe favorecer la turbulencia y el proceso de combustión. Esto es posible de dos formas, la primera, como muestra la Figura 6.28, consiste en instalar dos válvulas, una de admisión y otra de escape de tal forma que tengan un área máxima, aprovechando la superficie de la cámara. Esta solución hace que el peso de las válvulas sea elevado y por tanto aumenten las inercias, que se hacen notables a partir de un régimen de giro. La segunda, simplificada en la Figura 6.29, se trata de disponer de varias válvulas, generalmente 1 o 2 de escape y 2 o 3 de admisión, de forma que el peso de las mismas no sea muy elevado y permitan aprovechar mejor el espacio disponible en la cámara de combustión.

Sabías que...

Existen motores con sistemas de distribución multiválvulas, por ejemplo, 4 por cilindro, en los que para un mismo cilindro, las levas de admisión y/o de escape están algo desfasadas entre sí para favorecer la turbulencia.

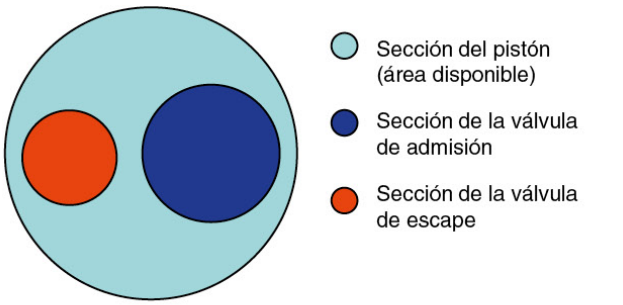


Figura 6.28. *Sistema de dos válvulas por cilindro (1 de escape y 1 de admisión).*

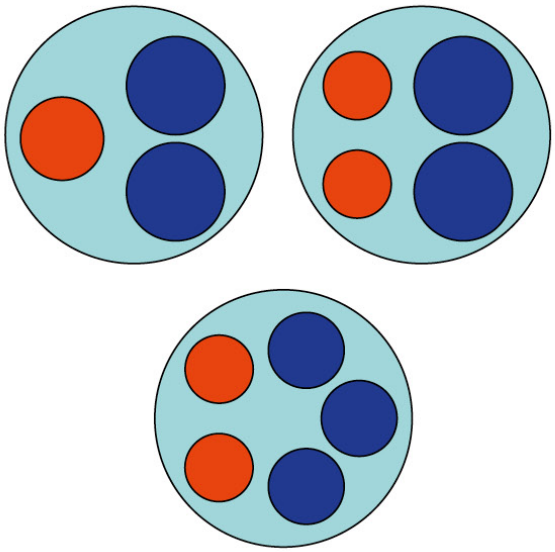


Figura 6.29. *Sistema multiválvulas (1 o 2 de escape y 2 o 3 de admisión).*

Con la distribución multiválvulas se puede mantener la cámara de combustión con forma hemisférica, que, como es sabido, es compacta, permite situar la bujía en el centro minimizando el recorrido del frente de llama y dado el ángulo y posición de las válvulas los gases entran y salen fácilmente.

Pero a pesar de estas ventajas, hay que decir que si se mantiene un diagrama de distribución fijo, el funcionamiento del motor sigue optimizado únicamente para un rango de vueltas muy estrecho. De ahí que los motores multiválvulas convencionales tengan una poderosa respuesta a altos regímenes de giro, mientras que suelen mostrarse algo perezosos en bajas y medias revoluciones, viéndose afectada su elasticidad. Para evitar esto y conseguir el máximo rendimiento del motor en una amplia gama de vueltas, aumentando su elasticidad, se emplean los sistemas de distribución variable, los cuales se explican y detallan a continuación.

© Ediciones Paraninfo

6.4.3. Distribución variable

En el punto anterior ya se han explicado las limitaciones de la distribución multiválvulas con diagrama de distribución fijo. Esto queda perfectamente reflejado en la Figura 6.30, que representa cualitativamente el alzado de las válvulas de admisión y escape en función del ángulo de giro del cigüeñal. Como puede apreciarse, el perfil de alzada se repite en el tiempo, y la posición relativa o fase de ambas curvas también, con lo que el ángulo de cruce es invariable. Con un diagrama de distribución fijo, si el motor es de aspiración natural, el punto de funcionamiento óptimo del motor solo se consigue en un intervalo de revoluciones y carga determinado.

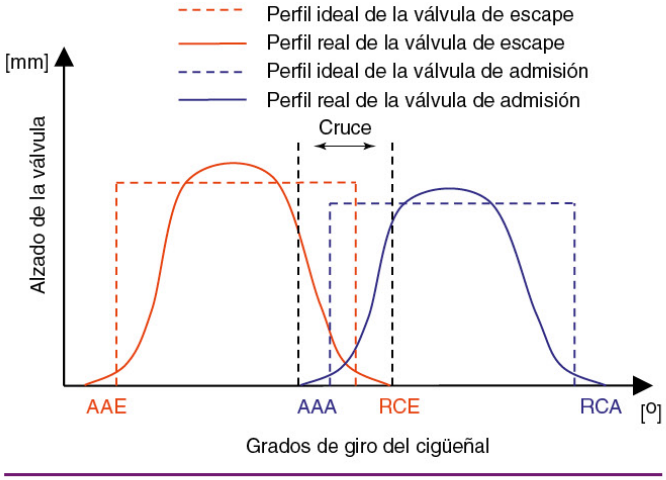


Figura 6.30. *Representación del alzado de las válvulas en función del ángulo de giro del cigüeñal.*

El objetivo de la distribución variable es modificar el alzado de las válvulas (Figura 6.31), la fase (Figura 6.32) o ambas (Figura 6.33) en los árboles de levas de admisión y escape, o solo en la admisión, con el fin de obtener un sistema de distribución adaptativo a las condiciones de revoluciones y carga del motor en cada momento.

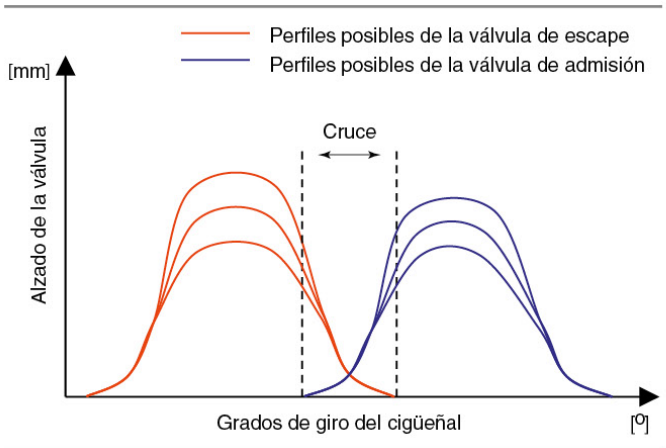


Figura 6.31. *Modificación del alzado de las válvulas de admisión y escape.*

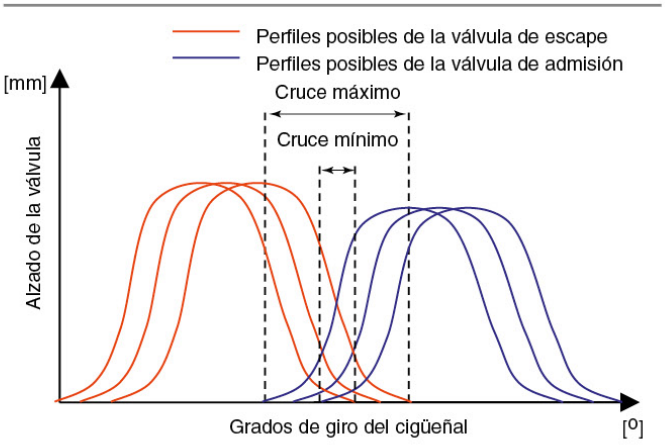


Figura 6.32. *Modificación de la fase de las válvulas de admisión y escape.*

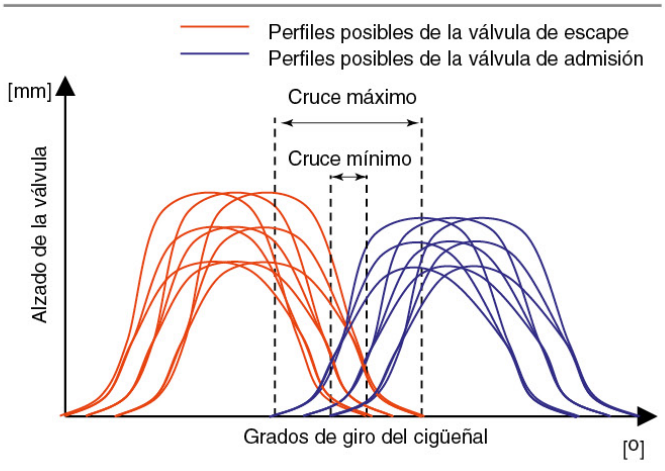


Figura 6.33. *Modificación del alzado y de la fase de las válvulas de admisión y escape.*

A continuación se van a describir los sistemas más importantes de distribución variable que los fabricantes han ideado para optimizar el proceso de renovación de la carga.

Sistema de distribución variable con variador de fase mediante tensor hidráulico

Este sistema está diseñado para variar la fase del árbol de levas de admisión empleando un tensor hidráulico. Los elementos básicos que intervienen en el sistema son los mostrados en la Figura 6.34.

La cadena cinemática de transmisión del movimiento es la siguiente: el cigüeñal mueve el árbol de levas de escape mediante correa dentada o cadena y el árbol de levas de escape mueve a su vez el de admisión mediante una cadena.

© Ediciones Paraninfo

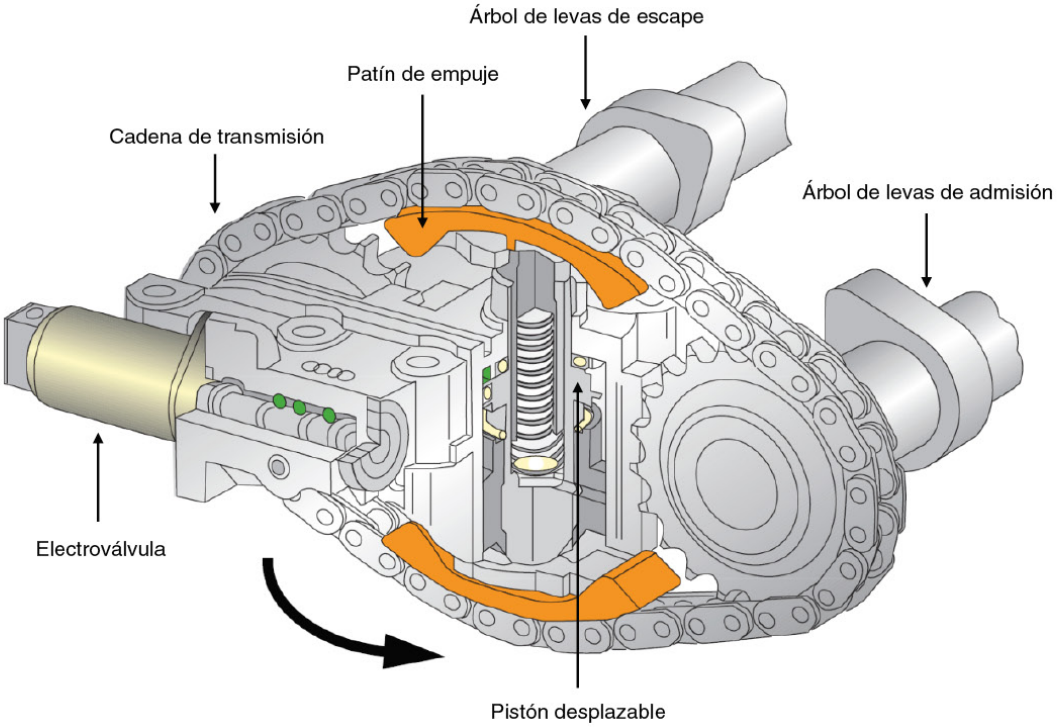


Figura 6.34. *Elementos básicos del sistema de distribución variable mediante tensor hidráulico.*

Si se aísla el sistema de transmisión del movimiento del árbol de levas de escape-árbol de levas de admisión y se introduce un patín desplazable, se puede intuir que, dado que el árbol de levas de escape tiene el movimiento más restringido al estar unido mecánicamente al cigüeñal, el único elemento de esa cadena de transmisión que tiene un cierto grado de libertad para desplazarse es el árbol de levas de admisión, lo que se traduce en un ángulo de giro que lo desfasa con respecto a su elemento motriz, el árbol de levas de escape, como muestra la Figura 6.35.

El actuador electrohidráulico consta de los siguientes elementos:

1. Electroválvula.
2. Cámara inferior.

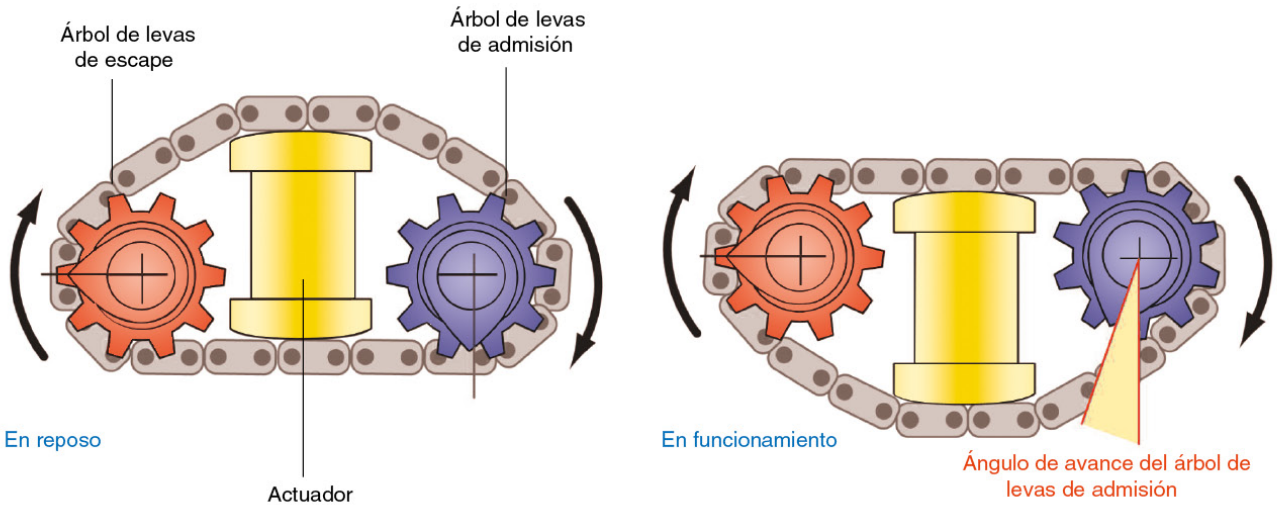


Figura 6.35. *Desplazamiento angular relativo del árbol de levas de admisión con respecto al de escape.*

© Ediciones Paraninfo

3. Muelle del pistón.
4. Patines de empuje.
5. Cadena de transmisión.
6. Pistón desplazable.
7. Muelle del tensor.
8. Muelle del tensor.
9. Corredera de la electroválvula.
10. Cámara superior.

En estado de reposo (Figura 6.36), la electroválvula (1) no tiene alimentación y la posición de su corredera (9) permite el paso de aceite a presión, del sistema de lubricación, a la cámara inferior (2), haciendo que el pistón desplazable (6) se mantenga en la posición de menor cruce, es decir, no provoca desfase entre árbol de levas de admisión y escape. Este movimiento no sería posible sin haber desalojado antes el aceite contenido en la cámara superior (10), el cual se evacua a través del conducto de retorno de aceite que descubre la corredera (9) de la electroválvula (1).

En funcionamiento (Figura 6.37), la unidad de control del motor alimenta la electroválvula (1) y mueve su corredera (9), que cambia el recorrido del aceite para que llene la cámara superior (10) y mueva el pistón desplazable (6), venciendo la fuerza del muelle (3), provocando el movimiento de los patines de empuje (4) y con ellos la cadena de transmisión (5). El aceite contenido en la cámara inferior es desalojado por el nuevo conducto de retorno de aceite descubierto por la corredera (9). De esta forma, se produce un desfase angular entre ambos árboles de levas, aumentando el cruce de válvulas.

Un ejemplo de diagrama de distribución empleando este sistema es el que muestra la Figura 6.38. Donde pueden apreciarse tres zonas de funcionamiento:

- **Hasta 1500 rpm:** el actuador está en su posición de reposo y no existe cruce de válvulas, ya que el Avance de la Apertura de la Admisión (AAA) está después que el Retraso del Cierre del Escape (RCE). Esto permite tener un ralentí estable y reducir las emisiones contaminantes, concretamente la tasa de hidrocarburos, al no perder parte de mezcla fresca por arrastre durante el cruce de válvulas.
- **Entre 1500 y 5500 rpm:** el actuador electrohidráulico entra en funcionamiento y desfasa 7,5° el árbol de levas de admisión con respecto al de escape, lo que se traduce en un adelanto medido en el cigüeñal de 15°. De esta forma se obtiene un ángulo de cruce de 9°, que favorece el funcionamiento del motor durante la entrega de par favoreciendo el llenado de los cilindros.
- **Por encima de 5500 rpm:** la electroválvula vuelve a su posición de reposo, es decir, no existe cruce de válvulas. Aunque este fenómeno pueda parecer contraproducente a priori hay que notar que a elevadas revoluciones los gases tienen mucha inercia y ya no es tan crítico desde el punto de vista del llenado el tener un gran cruce de válvulas y favorecer la entrada de gases por arrastre, sino aprovechar esa inercia retrasando el cierre de la válvula de admisión. Al retrasar el árbol de levas de admisión,

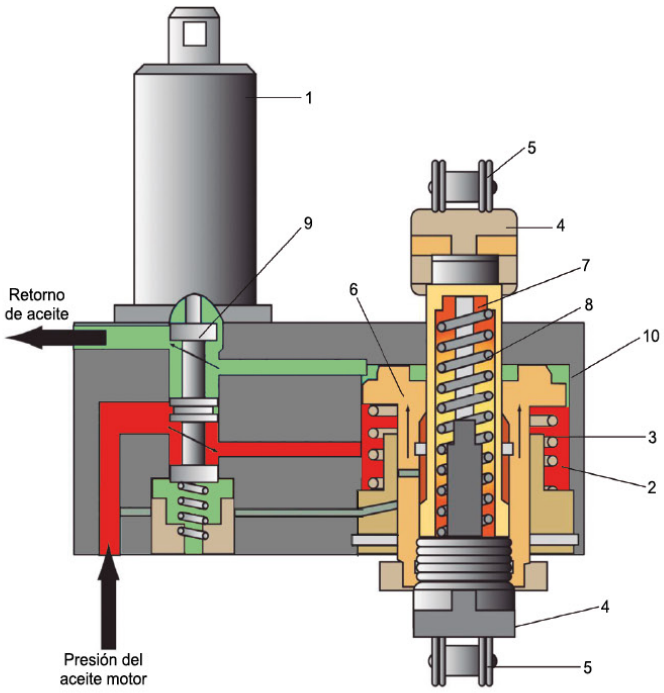


Figura 6.36. *Posición del actuador en estado de reposo.*

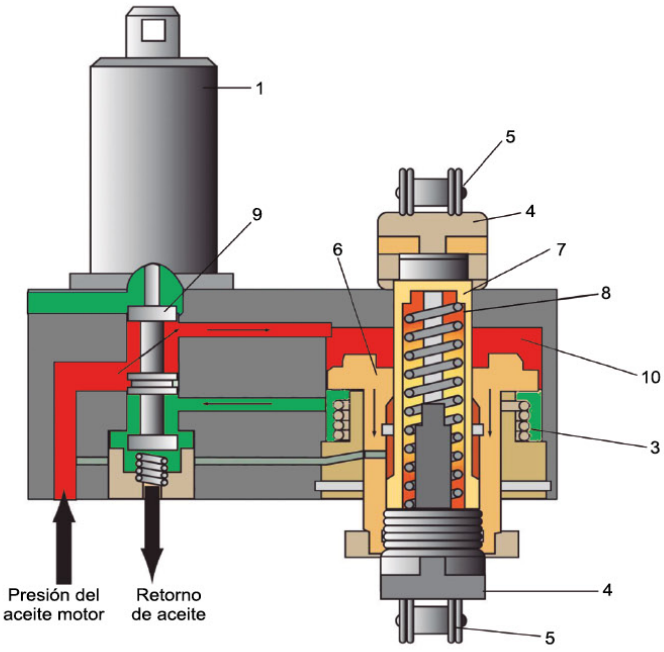


Figura 6.37. *Posición del actuador en funcionamiento.*

© Ediciones Paraninfo

se retrasa el AAA y, a su vez, el Retraso del Cierre de la Admisión (RCA), mejorando el llenado al aprovechar la inercia del fluido de admisión.

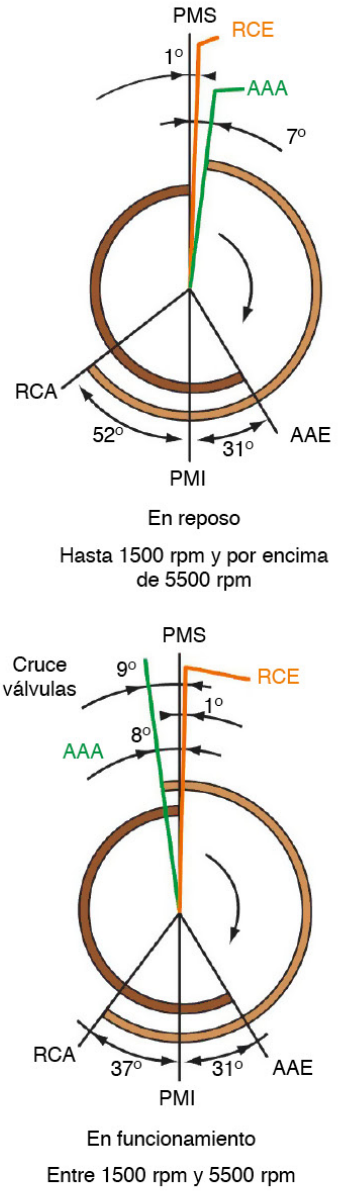


Figura 6.38. *Diagrama de distribución de un sistema Variocam.*

Sistema de distribución variable con variador de fase mediante pistón hidráulico

Este sistema se emplea para variar la fase del árbol de levas de admisión, como en el caso anterior, pero ahora es un pistón hidráulico el que al desplazarse axialmente a través de un estriado helicoidal va a conseguir el desfase entre ambos árboles de levas. La Figura 6.39 muestra el aspecto externo de este tipo de variador.

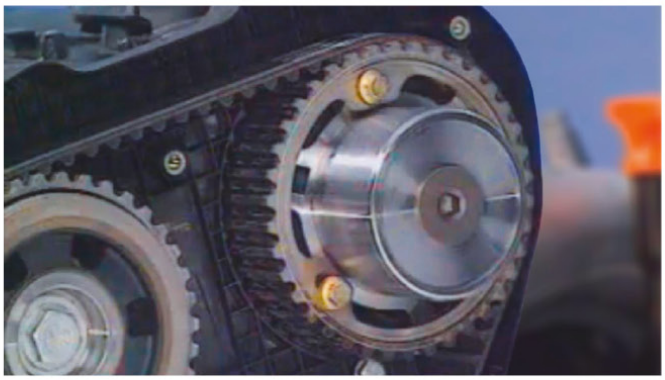


Figura 6.39. *Aspecto externo del variador de fase mediante pistón hidráulico.*

El conjunto del variador está formado por los siguientes elementos:

- Un cilindro A (Figura 6.40), solidario al árbol de levas de admisión, en cuyo contorno lleva labrado un estriado helicoidal.
- Un cilindro B (Figura 6.41), que forma parte del piñón de la distribución, cuyo interior está dotado de otro estriado helicoidal (Figura 6.42).

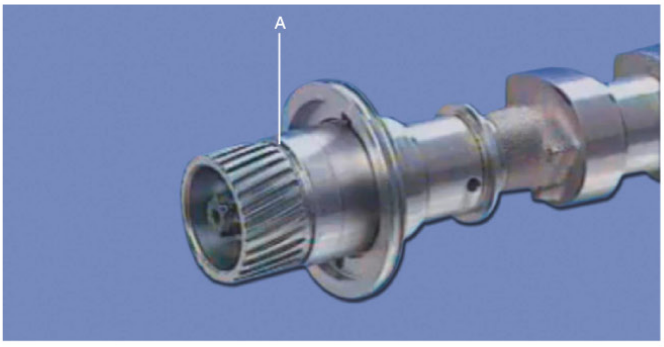


Figura 6.40. *Cilindro solidario al árbol de levas de admisión hidráulico.*

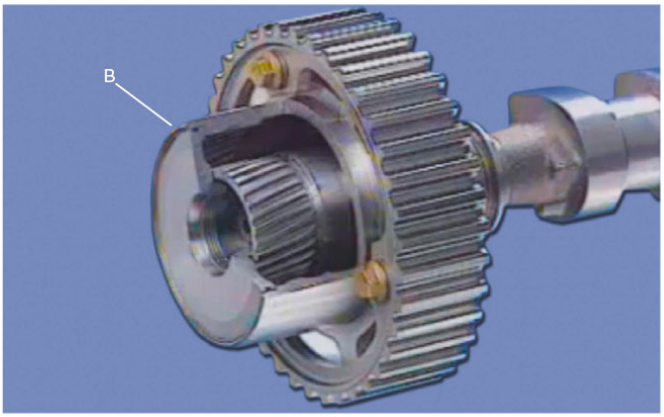


Figura 6.41. *Cilindro que forma parte del piñón de la distribución.*

© Ediciones Paraninfo

- Un pistón intermedio desplazable C (Figura 6.43) con estriados helicoidales exteriores e interiores.

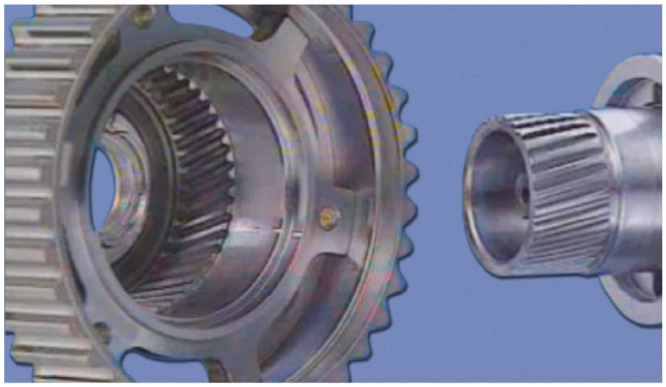


Figura 6.42. *Detalle del dentado helicoidal interior del cilindro solidario con el piñón de la distribución.*

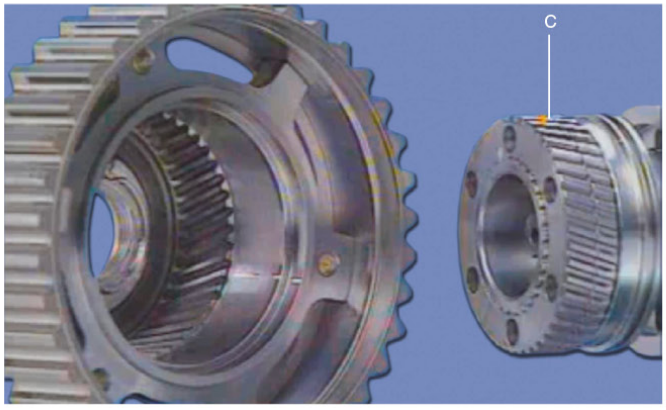


Figura 6.43. *Pistón intermedio desplazable.*

El conjunto queda montado como muestran las Figuras 6.44 y 6.45, siendo el despiece de este variador según la Figura 6.46.

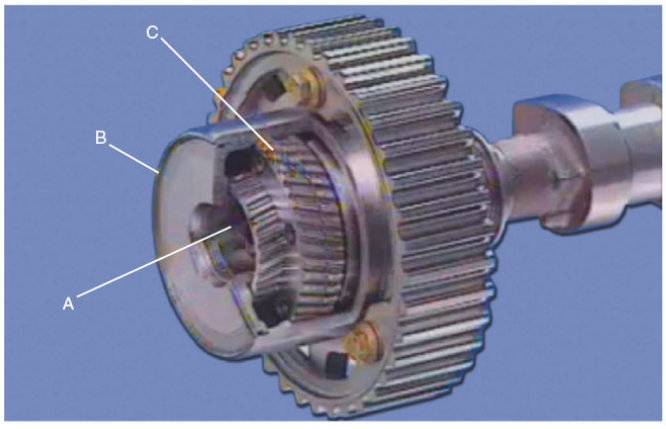


Figura 6.44. *Montaje del conjunto del variador.*

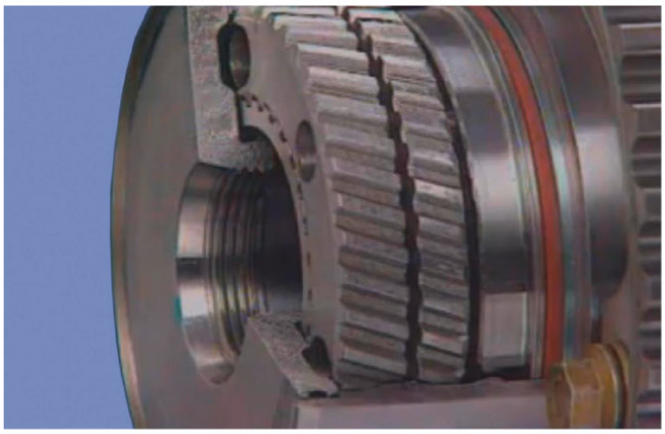


Figura 6.45. *Detalle del conjunto del variador.*

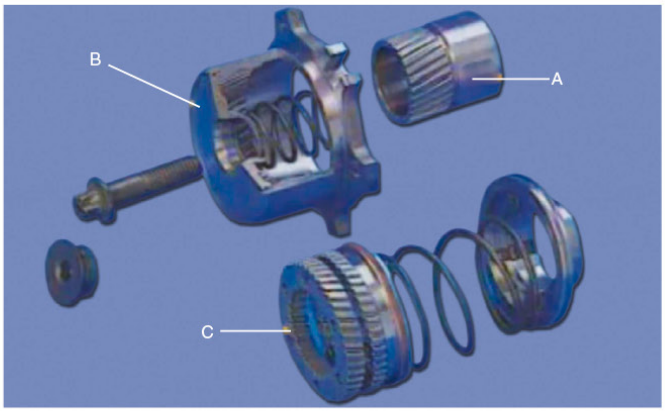


Figura 6.46. *Despiece del variador.*

Una electroválvula (Figura 6.47) controlada por la unidad de control, va a ser la encargada de gestionar el recorrido del aceite del sistema de lubricación a presión, a fin de mover el pistón intermedio desplazable, cambiando la fase del árbol de levas de admisión.

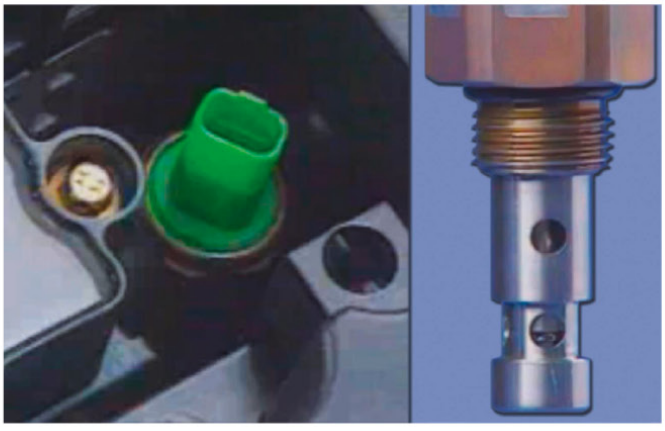


Figura 6.47. *Electroválvula de mando.*

© Ediciones Paraninfo

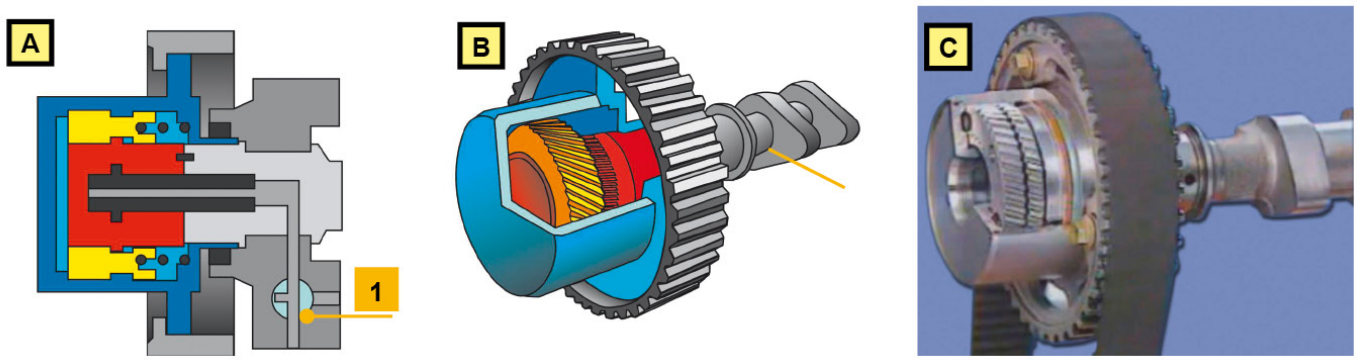


Figura 6.48. *Variador en reposo.*

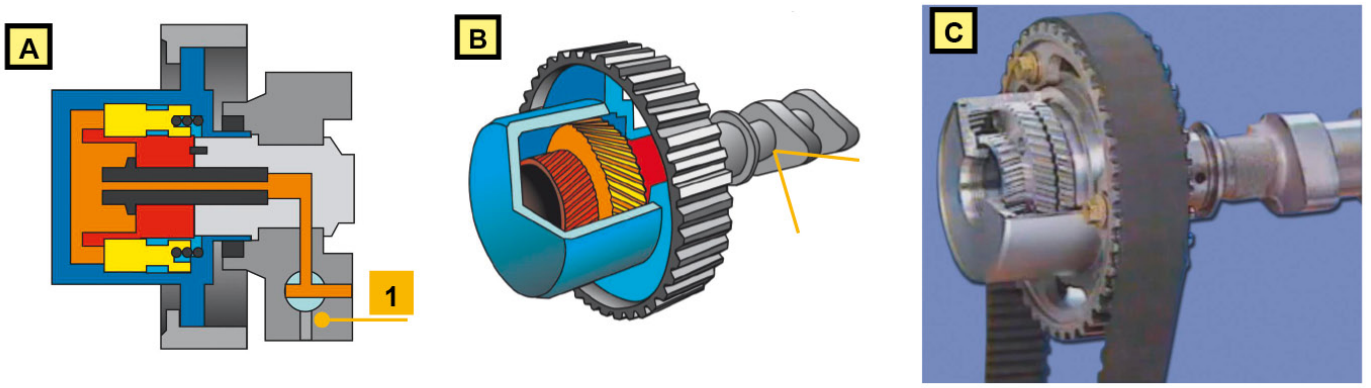


Figura 6.49. *Variador en funcionamiento.*

El sistema tiene dos posiciones de funcionamiento:

- **En reposo:** que corresponde al estado de motor parado, régimen estable sin aceleraciones y régimen por encima de 4300 rpm. En esta posición se tiene un cruce mínimo, que como ya se ha explicado anteriormente, implica un ralentí más estable y al aumentar el RCA a altas vueltas favorece el llenado aprovechando la inercia de los gases de admisión. Como puede verse en la Figura 6.48A, la electroválvula (1) permanece en reposo, con lo cual el pistón intermedio desplazable también lo hace (Figuras 6.48B y 6.48C).
- **En funcionamiento:** cuando la unidad de control detecta que se está pidiendo al motor entrega de par, es decir, durante una aceleración, la electroválvula (1) permite el paso de aceite a presión y este empuja al pistón intermedio desplazable comprimiendo el muelle de retroceso, como muestra la Figura 6.49A. Este desplazamiento axial, sumado al provocado por el estriado helicoidal, genera la rotación del árbol de levas de admisión hasta unos 20° en sentido del avance (Figuras 6.49B y 6.49C). Con lo cual se consigue un mayor cruce de válvulas, al adelantar la AAA y se minimiza la pérdida de gases frescos al adelantar también el RCA. La Figura 6.50 muestra la vuelta a la posición de reposo mediante la evacuación del aceite por el conducto de retorno y la actuación del muelle de retroceso (2).

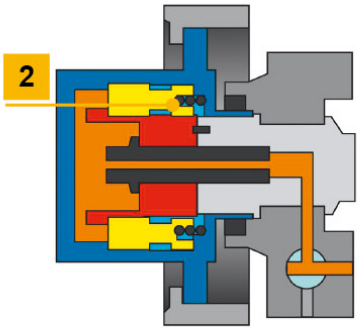


Figura 6.50. *Retorno del variador a su posición de reposo.*

Sistema de distribución variable con variador celular de aletas

Actualmente, la distribución variable mediante variador celular de aletas está muy extendida. Cada fabricante la identifica en sus motores con diferentes siglas y puede

© Ediciones Paraninfo

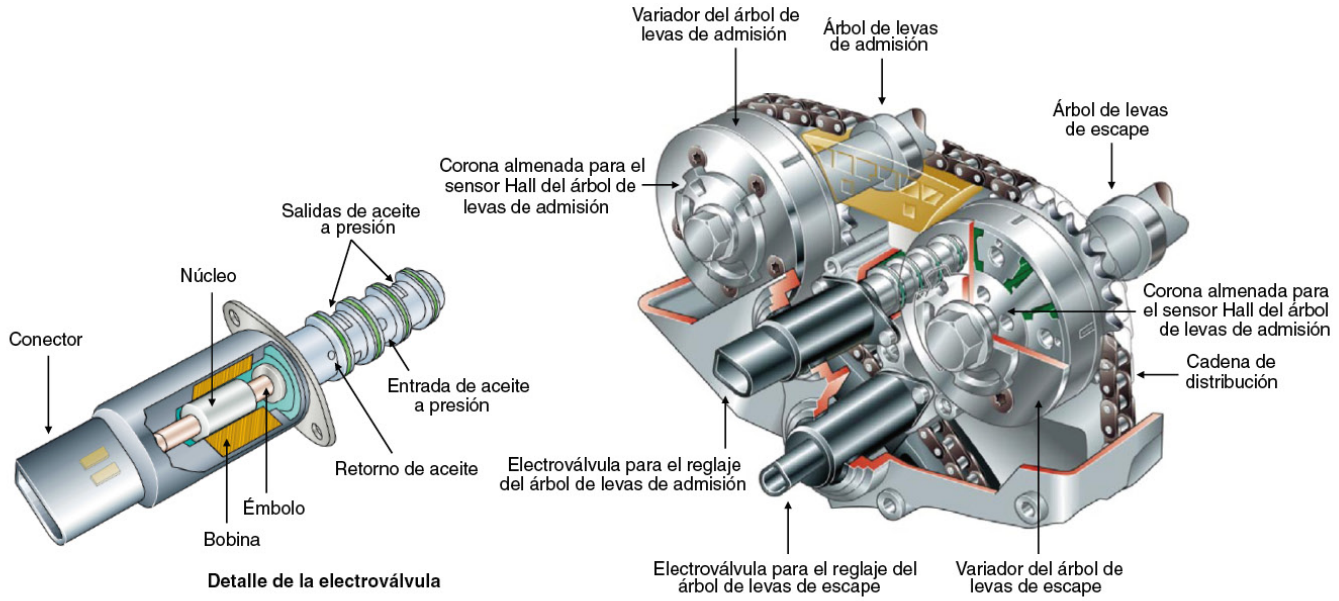


Figura 6.51. *Vista general del sistema de distribución variable con variador celular de aletas.*

consistir en variar la fase del árbol de levas de admisión o de admisión y escape. Además, su modo de funcionamiento puede variar de unos motores a otros, estableciendo dos o más modos. En cualquier caso, su principio de funcionamiento va a ser similar y a continuación se va a explicar uno de los sistemas más completos, ya que comprende la regulación de la fase de ambos árboles de levas y con ello cuatro modos de funcionamiento distintos.

La vista general del sistema es la que aparece en la Figura 6.51. Los componentes son dos variadores celulares de aletas situados sobre el árbol de levas de admisión y de escape, que están conectados al circuito de lubricación a presión del motor a través de la carcasa de distribución. Dado que los variadores funcionan hidráulicamente, son necesarios dos elementos de control, las electroválvulas, para que puedan repartir el aceite a presión hacia ellos, modificando su posición.

La posición relativa de los árboles de levas de admisión y escape está controlada hidráulicamente a través de sus correspondientes electroválvulas, que a su vez están comandadas por la unidad de control, en función del régimen, la carga y la temperatura del refrigerante del motor. Dos sensores de efecto Hall se encargan de informar de la posición instantánea de cada árbol de levas y otro, situado en el volante motor, capta la velocidad de giro y posición del cigüeñal. El esquema general de funcionamiento es el representado en la Figura 6.52.

La estructura del variador celular de aletas es la mostrada en la Figura 6.53, siendo la imagen de la izquierda la correspondiente al lado de admisión y la de la derecha la del lado del escape. El rotor exterior es solidario al piñón de la distribución y el rotor interior es solidario al árbol de levas. Como puede intuirse, el rotor exterior arrastrará al interior, moviendo a su vez el árbol de levas correspondiente. La diferencia entre ambos variadores es que las aletas del rotor interior del lado de escape son más anchas ya que su desfase máximo es de 22° medidos en el cigüeñal, frente a 52° del lado de admisión, por lo que en este caso son más estrechas.

Este sistema de distribución variable tiene cuatro modos de funcionamiento principales:

- **Ralentí:** la posición de los árboles de levas ha de ser tal que la admisión abra tarde, y por tanto cierre tarde, y el escape cierre pronto, abriendo pronto consecuentemente (Figura 6.54A). Esto favorece un ralentí estable debido a la escasa cantidad de gases residuales tras el proceso de combustión.
- **Par:** el objetivo de este modo es conseguir el mejor llenado de los cilindros aumentando el cruce de válvulas, adelantando para ello la apertura de la admisión y retardando el cierre del escape (Figura 6.54B). Con el adelanto de la apertura de la admisión también se adelanta su cierre, evitando la pérdida de gases frescos.
- **Potencia:** para conseguir la mayor potencia posible, se retrasa la apertura del escape a fin de maximizar la carrera de expansión, que es la única que genera trabajo, y que los gases a alta presión tras la combustión estén actuando más tiempo sobre el pistón. Al retrasar el cierre de la admisión se aprovecha mejor la inercia de la vena

© Ediciones Paraninfo

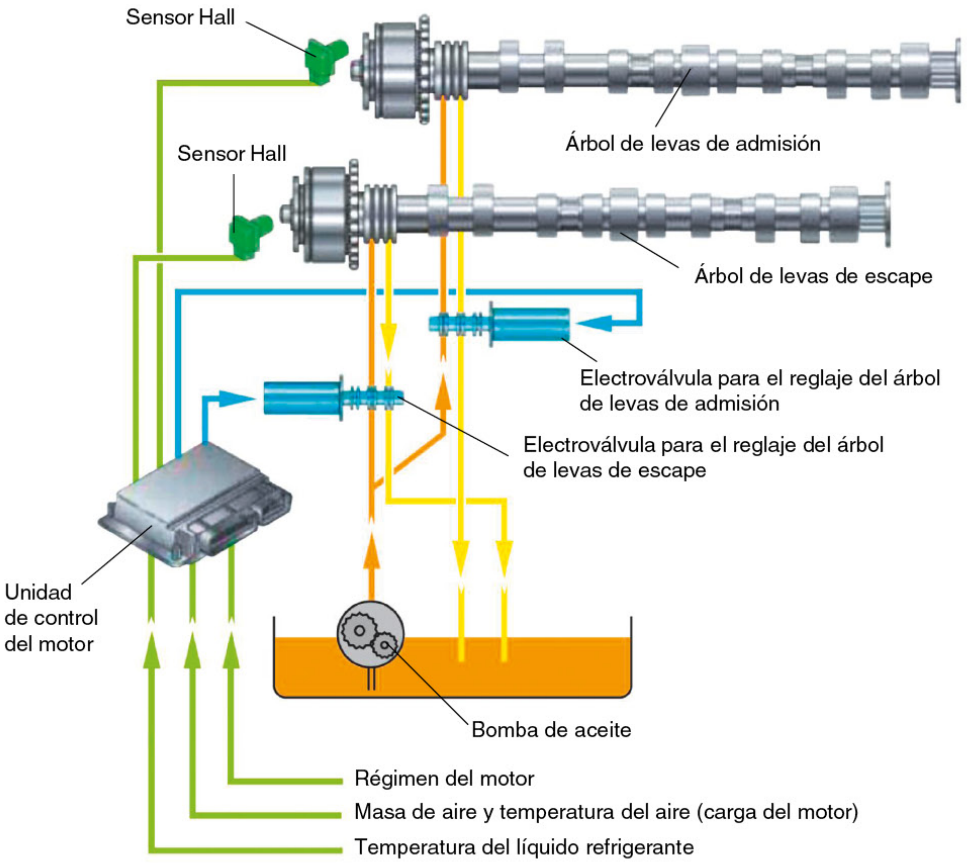


Figura 6.52 *Esquema general de funcionamiento de un sistema de distribución variable con variador celular de aletas.*

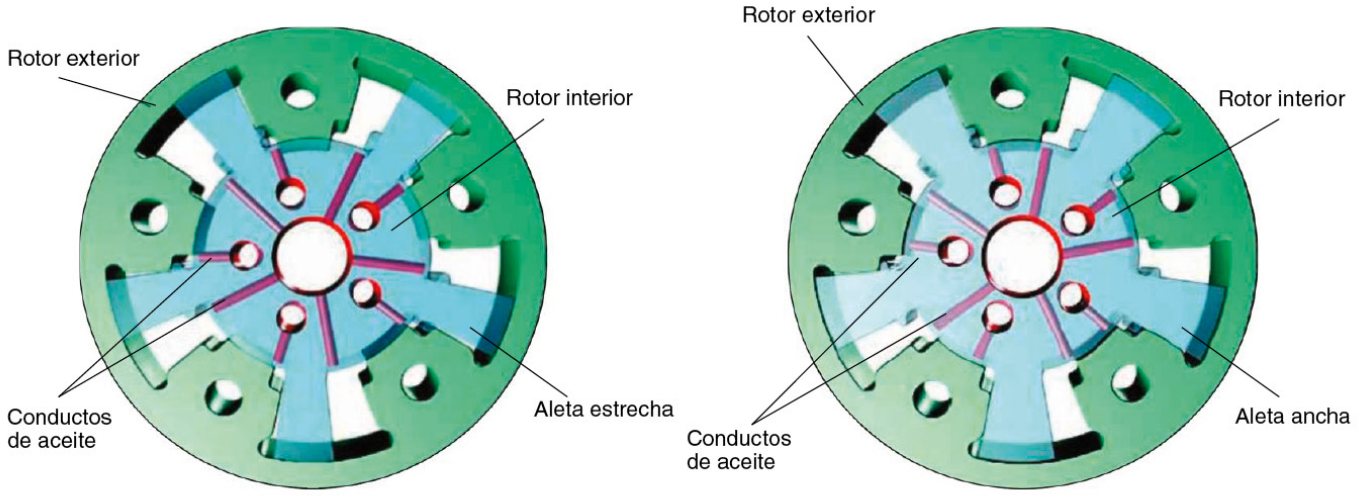


Figura 6.53. *Estructura de un variador celular de aletas para el árbol de levas de admisión (izquierda) y para el árbol de levas de escape (derecha).*

de gases frescos, que tienen gran velocidad, mejorado el llenado. El diagrama de distribución correspondiente a este modo es el que se puede apreciar en la Figura 6.54C.

- **Recirculación de gases de escape:** con este modo de funcionamiento se logran disminuir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_X) mediante una recirculación

© Ediciones Paraninfo

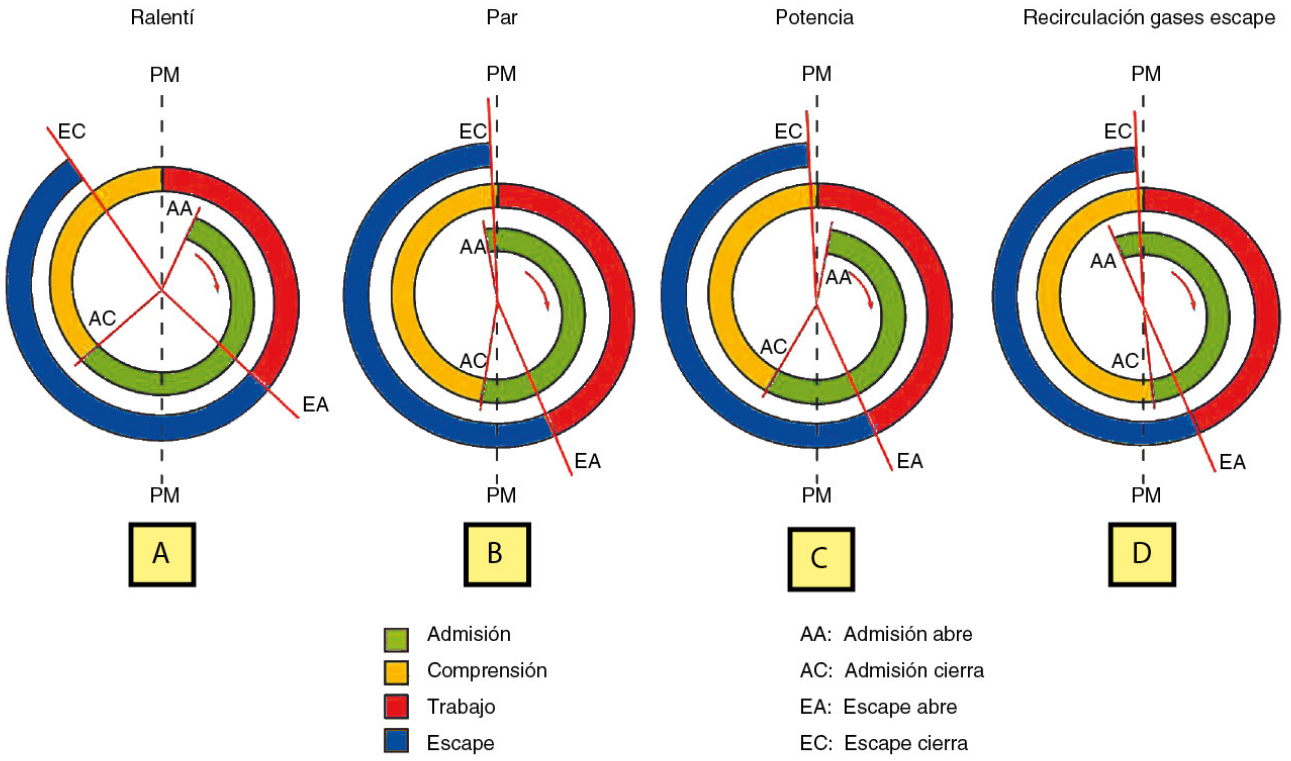


Figura 6.54. *Modos de funcionamiento principales del sistema de distribución variable con variador celular de aletas.*

interna de los gases de escape. Esto es posible aumentando el cruce de válvulas (Figura 6.54D), durante el cual, parte de los gases de escape pasan a la admisión para ser quemados de nuevo, disminuyendo la cantidad de oxígeno en la mezcla, reduciendo las temperaturas de combustión y con ello los NO_X.

Sabías que...

En este tipo de sistemas, si se avería el sensor Hall del volante motor, el motor se para y no vuelve a arrancar. Si se avería uno de los transmisores de los árboles de levas, el motor no se para y puede volver a arrancar tras una parada, pero no se modifica el diagrama de distribución. Si se averían los dos transmisores de los árboles de levas, el motor puede seguir funcionando sin modificación del diagrama de distribución pero tras su parada no vuelve a arrancar.

A la vista de la Figura 6.54, puede deducirse que para conseguir estos cuatro modos de funcionamiento, el árbol de levas de admisión sufre una regulación continua que va desde el máximo avance al máximo retraso. Por otro lado, el árbol de levas de escape solo tiene dos posiciones, correspondientes al máximo avance y al máximo retraso, es decir de tope a tope. Para entender mejor el funcionamiento del sistema, se van a explicar las diferentes posiciones del árbol de levas de admisión y de escape.

- **Posiciones del árbol de levas de admisión:**
  - **Avance máximo:** para conseguir esta posición y según la Figura 6.55, la unidad de control del motor alimenta la electroválvula (1) y esta mueve el émbolo del variador (2), que dirige el aceite a presión (3) a través de la carcasa de la distribución (4) hacia el conducto anular del árbol de levas (5), pasando de los taladros radiales (6) a los cinco taladros frontales (7) y de ahí a las cinco cámaras del variador (8). Una vez el aceite ha entrado en las cámaras, empuja las aletas del rotor interior (9), desfasándolo del rotor exterior, consiguiendo su posición de avance máximo. Puede comprobarse que si se toma como sentido de giro del motor el horario, el desplazamiento del rotor interior y, por tanto, del árbol de levas, lo hace a favor de dicho sentido, es decir el de avance.
  - **Retardo máximo:** en este caso, siguiendo la Figura 6.56, la unidad de control del motor manda una señal a la electroválvula (1) para que mueva el émbolo del variador (2) en sentido contrario al anterior, conduciendo el aceite (3) a través de la carcasa de la distribución (4) hacia el conducto anular del árbol de

© Ediciones Paraninfo

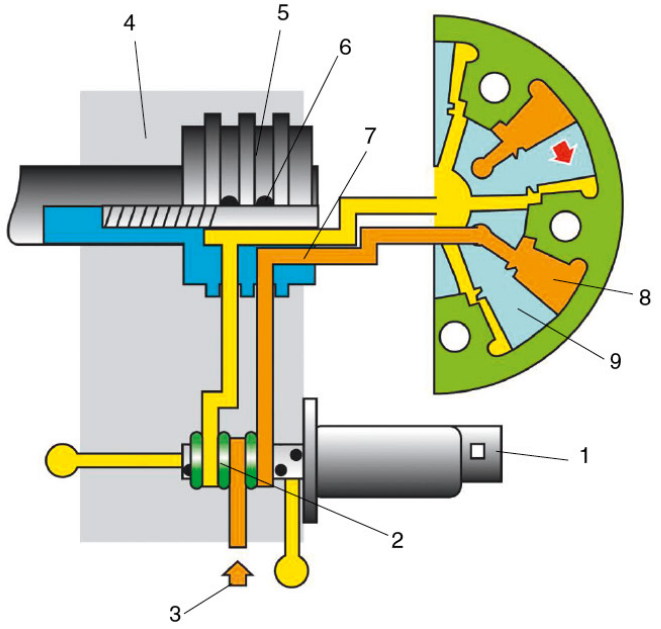


Figura 6.55. *Posición del árbol de levas de admisión en avance máximo.*

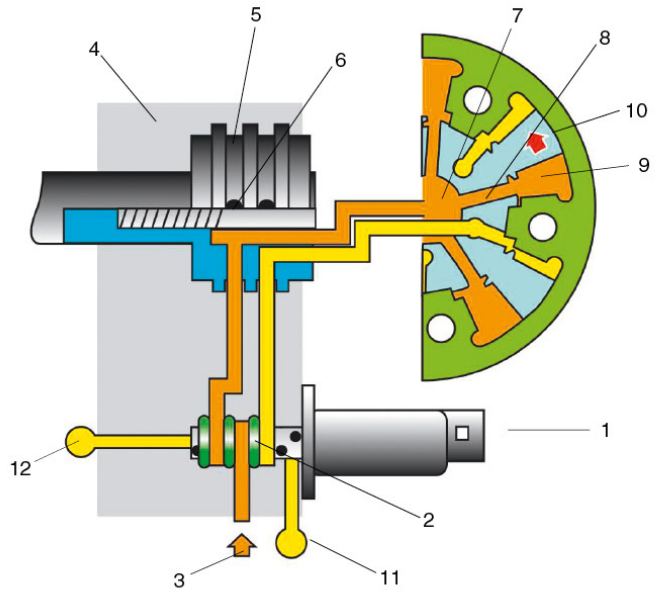


Figura 6.56. *Posición del árbol de levas de admisión en retardo máximo.*

levas (5), que lo lleva desde los taladros radiales del árbol de levas (6) al taladro ciego para el tornillo de fijación del variador (7). Desde ahí pasa a través de cinco ranuras (8) a las cámaras de aceite (9), empujando el rotor interior (10) en sentido contrario, es decir, de retardo. Como el émbolo del variador comunica el conducto de la posición de avance con el retorno de aceite (11), este es desalojado de la cámara de avance y el rotor interior puede cambiar de posición. Esta última operación es la misma cuando se quiere pasar de la posición de retardo a avance, pero el retorno de aceite se hace por otro lado (12).

– **Regulación continua:** consiste en que el árbol de levas de admisión adopte diferentes posiciones intermedias. El funcionamiento es sencillo, ya que una vez se ha detectado la posición del árbol de levas mediante el sensor Hall correspondiente, se procede al avance o retardo de la manera descrita anteriormente y una vez conseguida la posición deseada, el émbolo del variador adopta una posición en la que mantiene sometidas a presión las dos cámaras del variador, como puede apreciarse en la Figura 6.57.

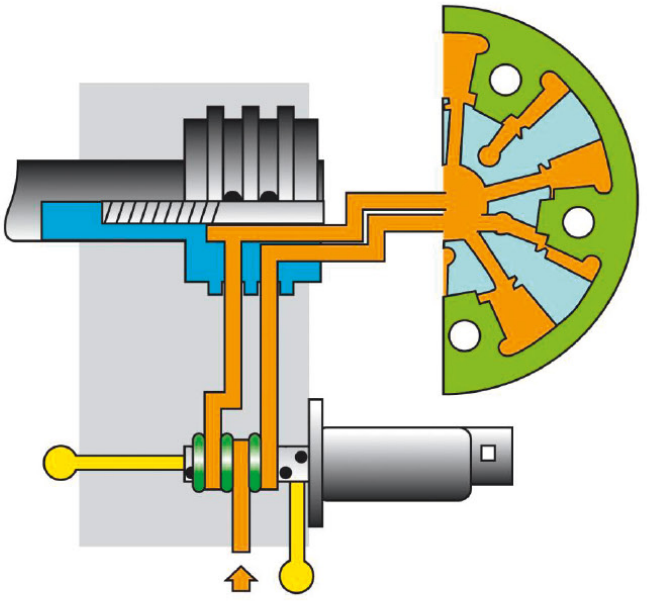


Figura 6.57. *Posición intermedia del árbol de levas de admisión.*

- **Posiciones del árbol de levas de escape:** solo dispone de dos posiciones posibles, avance máximo y retardo máximo, sin posibilidad de regulación continua. La manera de alcanzar dichas posiciones es similar a la explicada para el árbol de levas de admisión.

Hay que decir que los modos de funcionamiento, posiciones y cotas de distribución varían de unos motores a otros. Hasta aquí se ha explicado uno de los casos más completos en cuanto a grado de adaptación, ya que incluso el sistema va corrigiendo holguras y tolerancias de los componentes, pero pueden encontrarse motores que solo modifican la fase del árbol de admisión o que carecen de regulación continua y pasan de máximo avance a máximo retardo.

© Ediciones Paraninfo

Sistema de distribución variable VTEC

La distribución variable del tipo VTEC fue ideada por Honda y a lo largo del tiempo ha sufrido diferentes evoluciones que han hecho que sus siglas varíen (VTEC-E, i-VTEC…), en función de si afecta a las válvulas de admisión, a las de admisión y escape, y sobre todo si el sistema va combinado con otras tecnologías como colector de admisión variable, inyección directa de gasolina… pero, en cualquier caso, el principio de funcionamiento es básicamente el mismo. Este tipo de distribuciones variables permiten variar el alzado y la fase de las válvulas de la forma que se va a explicar a continuación. Siguiendo la Figura 6.58, el árbol de levas (1) contiene 3 levas por cilindro, 2 que corresponden a un perfil de bajas rpm (2) y una que corresponde a uno de altas rpm (3). Las levas de bajas rpm atacan a los balancines primarios (4) y la de altas rpm al balancín secundario (5). Los balancines primarios empujan a las válvulas (6).

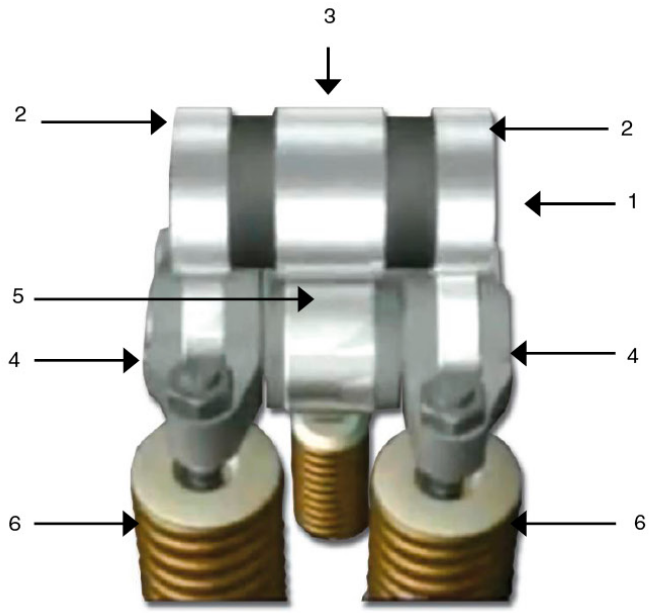


Figura 6.58. *Elementos de un sistema de distribución variable VTEC.*

A bajas rpm, las levas correspondientes a ese régimen empujan los balancines primarios con un pequeño desfase entre ambas para favorecer la turbulencia y consecuentemente el llenado, como muestra la Figura 6.59. Nótese que en los tres balancines hay tres pistones hidráulicos (1, 2 y 3) y en el extremo derecho un muelle de retorno (4). En esta posición, los tres balancines actúan de forma independiente, los dos primarios atacando a las válvulas y el secundario funcionando en vacío, sin transmitir movimiento.

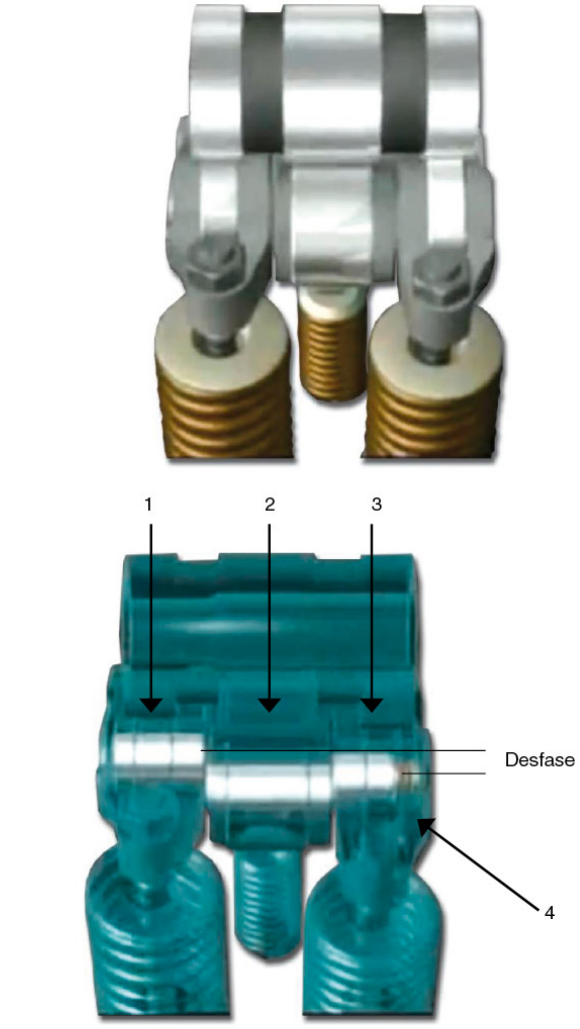


Figura 6.59. *Funcionamiento de un sistema de distribución variable VTEC a bajas revoluciones.*

A altas rpm, una electroválvula comandada por la unidad de control del motor, envía presión de aceite sobre los pistones hidráulicos desplazables, según la Figura 6.60,

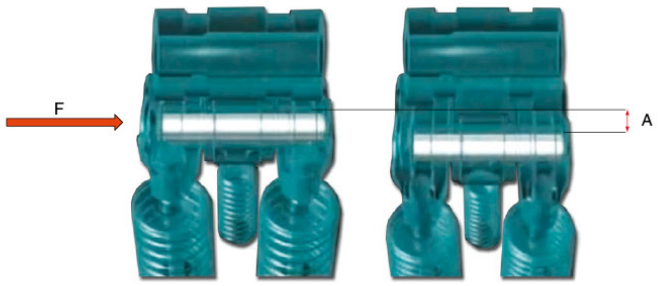


Figura 6.60. *Funcionamiento de un sistema de distribución variable VTEC a altas revoluciones.*

© Ediciones Paraninfo

Actividad resuelta 6.2

Resumir en una tabla los cuatro modos de funcionamiento del sistema de distribución variable con variador celular de aletas en función de las diferentes posiciones de los árboles de levas de admisión y escape.

Solución:

	Árbol de levas de admisión			Árbol de levas de escape	
	Avance	Regulación	Retardo	Avance	Retardo
Ralentí			X	X	
Par		X			X
Potencia		X			X
Recirculación de gases de escape	X				X

generando una fuerza (F) que los mueve hacia la derecha venciendo la fuerza del muelle de retorno y provocando el bloqueo de los tres balancines, que ahora se mueven al unísono al transmitir el movimiento la leva central al balancín secundario y este al estar unido solidariamente a los dos balancines primarios hace que se abran las válvulas con el alzado (A) y la fase correspondiente a altas vueltas.

De este sistema existen muchas variantes con multitud de configuraciones y disposiciones constructivas, pudiéndose actuar sobre la admisión, o sobre la admisión y el escape. El sistema VTEC-E, por ejemplo, solo actúa sobre la admisión y según las condiciones de funcionamiento abre una o las dos válvulas con un procedimiento similar al descrito anteriormente.

Sistema de distribución variable Valvetronic

El sistema Valvetronic permite una regulación continua de la alzada de las válvulas de admisión. Se suele combinar con el sistema de variador celular de aletas para conseguir también una regulación de la fase. Los elementos básicos del sistema Valvetronic son los que se pueden ver en la Figura 6.61. Como puede apreciarse, el árbol de levas de admisión (1) no ataca directamente a la palanca basculante (2) que abre la válvula de admisión (3), sino que mueve una palanca intermedia (4) cuya posición es regulada continuamente por el giro de la excéntrica (5). La excéntrica está unida solidariamente a un árbol que contiene el sector dentado (6), el cual es movido por un servomotor. La cadena de transmisión del movimiento es la siguiente: el servomotor mueve el sector dentado y con él al árbol de la excéntrica, que coloca la palanca intermedia en una posición determinada. El árbol de levas empuja a la palanca intermedia y a su vez a la palanca basculante, abriendo la válvula de admisión con una alzada determinada.

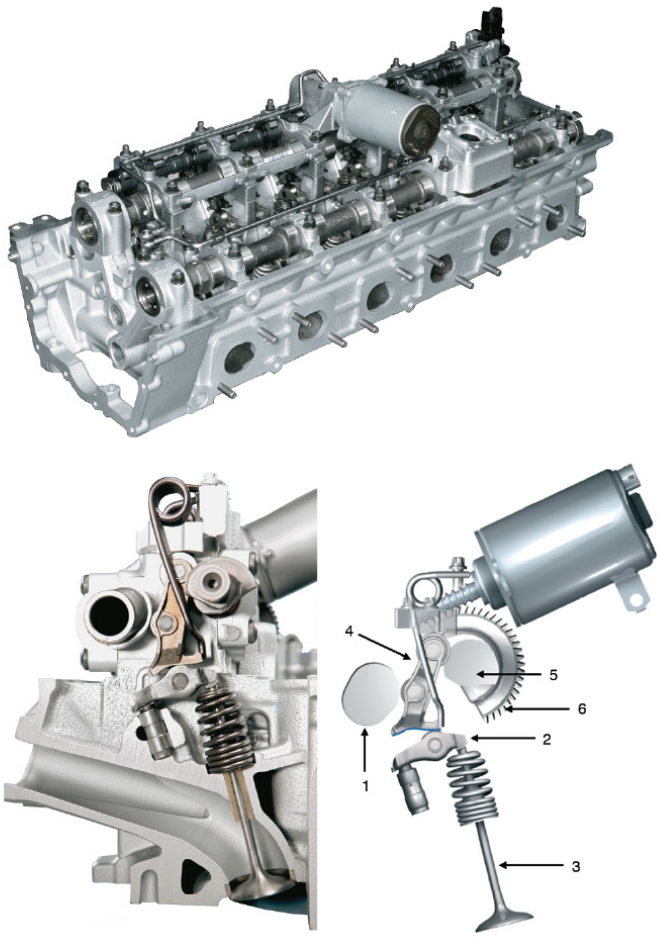


Figura 6.61. *Elementos básicos del sistema Valvetronic.*

© Ediciones Paraninfo

En la Figura 6.62 puede verse cómo el servomotor varía la posición del sector dentado para conseguir que la válvula de admisión pase de una alzada mínima a una alzada máxima.

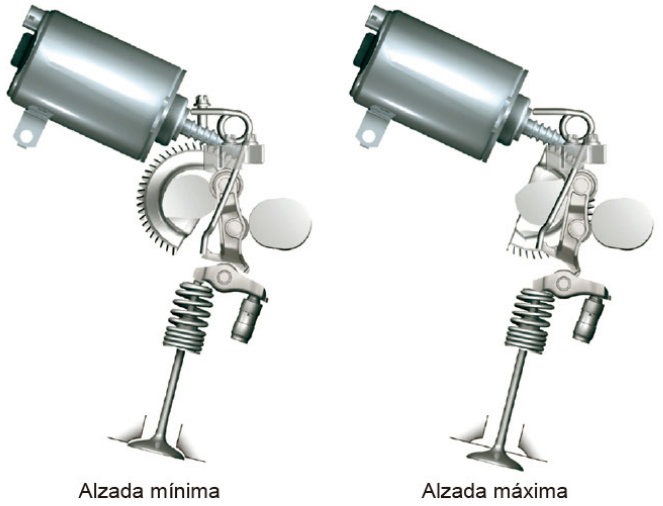


Figura 6.62. *Actuación del servomotor sobre el sector dentado.*

Con el sistema Valvetronic, se puede prescindir del uso de la mariposa de gases, ya que al poder regular la apertura de las válvulas de admisión gradualmente, no es necesario este dispositivo. Sin embargo, se sigue manteniendo para que se pueda regular la carga del motor en caso de avería del sistema. El conjunto Valvetronic se puede combinar con el sistema de distribución variable mediante variador celular de aletas, como se ha dicho anteriormente, y con otras tecnologías como colector de admisión variable, inyección directa de gasolina…

Sistema de distribución variable Valvelift

El sistema Valvelift modifica la alzada y la fase de las válvulas de admisión consiguiendo dos modos de funcionamiento. Esto es posible con dos perfiles de levas conmutables, como muestra la Figura 6.63, donde se tiene un perfil para bajas revoluciones (1) y un perfil (2) para altas.

Para conseguir las dos posiciones conmutables, según la Figura 6.64, las levas se montan sobre un manguito desplazable (1) a lo largo de un árbol estriado que les va a transmitir el movimiento de rotación, en sincronía con toda la distribución. El manguito va a tener dos posiciones (A y B), y se va a mantener en ellas gracias al fiador de bola (2).

Suponiendo que se parte de la posición de altas vueltas, para pasar al perfil de leva de bajas basta con seguir la Figura 6.65 A y B. La unidad de control excita la electroválvula (1) que mueve la aguja (2), haciéndola entrar en el

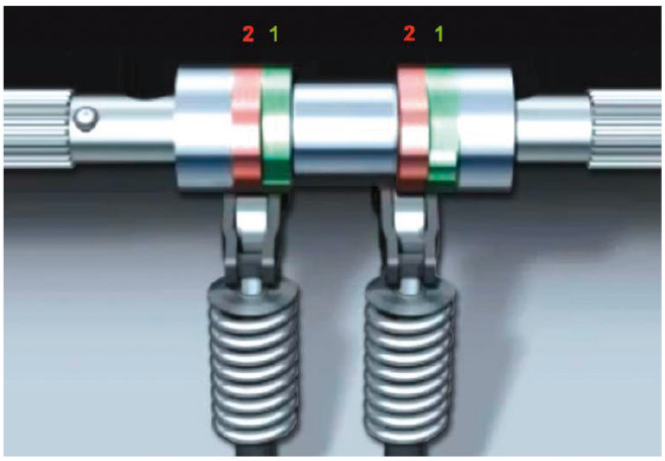


Figura 6.63. *Representación de los dos perfiles de leva posibles.*

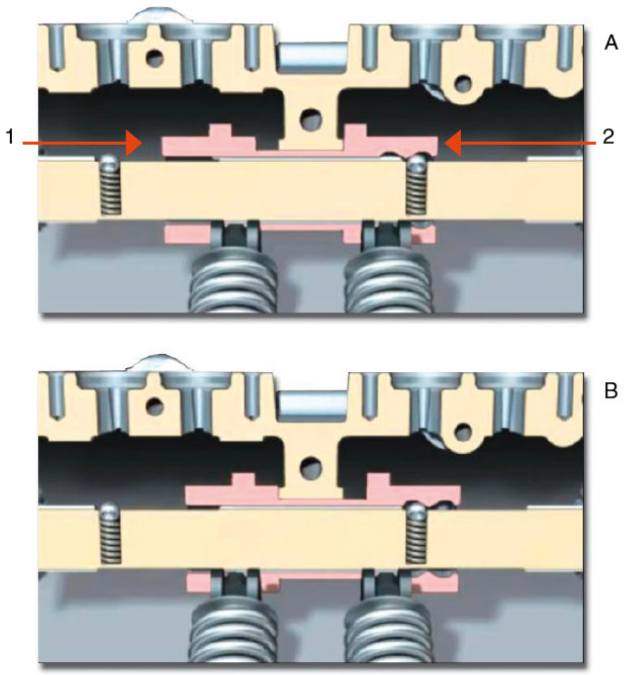


Figura 6.64. *Posiciones del manguito desplazable.*

surco helicoidal (3). Esto hace que el manguito desplazable sobre el que se montan las levas se mueva hacia la posición del perfil de levas de bajas revoluciones (4). La aguja retornará a su posición de reposo tras acabar el surco helicoidal, donde un perfil de leva (5) diseñado para este hecho empuje la aguja hacia arriba.

Para conmutar al modo de bajas revoluciones, el procedimiento es similar, pero al revés, como muestra la Figura 6.66 A y B. Ahora, la otra electroválvula (1) es activada por la unidad de control del motor y el movimiento del manguito desplazable es en sentido contrario.

© Ediciones Paraninfo

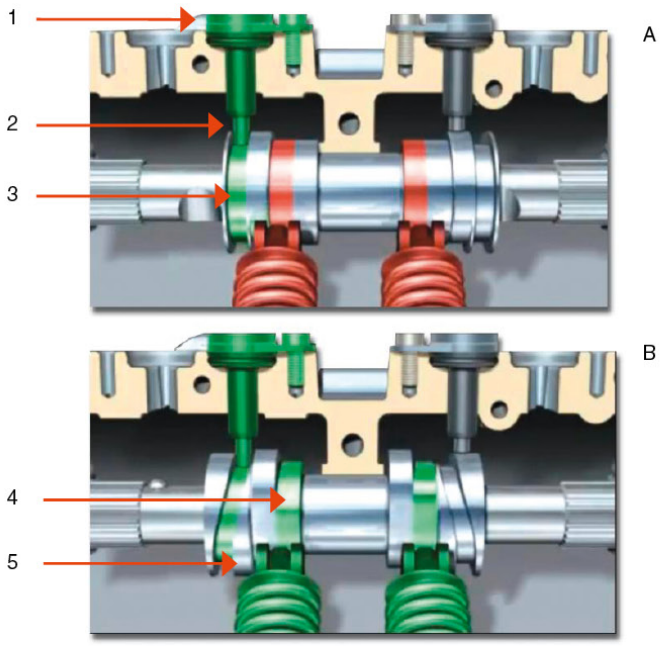


Figura 6.65. *Paso del perfil de leva de altas revoluciones a bajas revoluciones.*

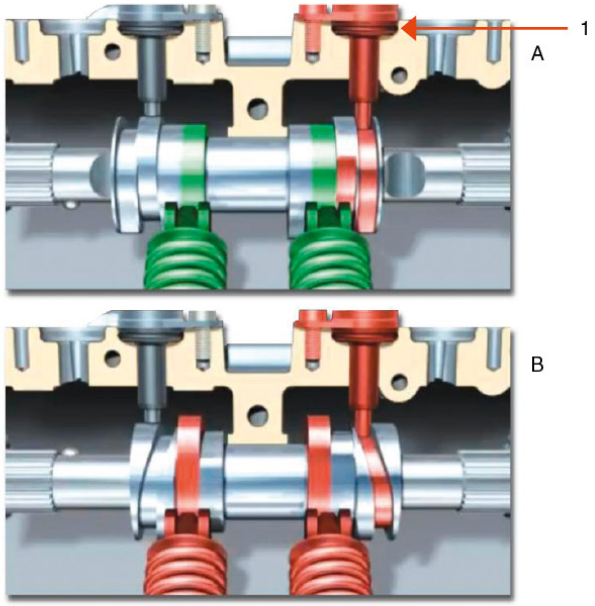


Figura 6.66. *Paso del perfil de leva de bajas revoluciones a altas revoluciones.*

El conjunto Valvelift se dispone en la culata según la Figura 6.67, y como en los casos anteriores puede combinarse con otros dispositivos como colectores de admisión variable, inyección directa de gasolina, sobrealimentación…

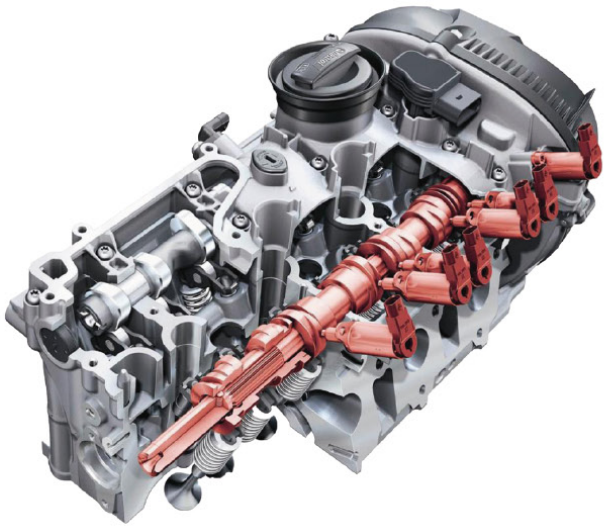


Figura 6.67. *Vista general del sistema Valvelift.*

Una moderna aplicación del sistema Valvelift es la gestión del motor en función de la demanda de cilindros necesarios, denominada *cylinder on demand*. Esto consiste en desactivar la mitad de los cilindros cuando no se exige carga al motor y el vehículo se desplaza a una velocidad constante. Para ello, si se quiere desactivar un cilindro, el sistema Valvelift desplaza el manguito hacia una posición donde el perfil de leva es circular, es decir, que no existe alzada. Esto se realiza para las válvulas de admisión y de escape. En la Figura 6.68 se puede observar un ejemplo de este sistema para un motor de ocho cilindros en V, distinguiendo tres situaciones de funcionamiento:

- Motor parado: cuando el motor está detenido, como por ejemplo por el sistema *start-stop,* no funciona ningún cilindro.
- Aceleración: al existir una cierta demanda de potencia, como por ejemplo en una aceleración, trabajan todos los cilindros del motor.
- Velocidad constante: en condiciones de carga parcial, se desconectan dos cilindros de cada bancada y funcionan cuatro de los ocho que tiene el motor.

Sistema de distribución variable Multiair

El sistema Multiair es una de las últimas tecnologías en materia de distribución variable introducida por el grupo Fiat, que consiste en controlar totalmente la apertura y cierre de las válvulas de admisión, en alzada, fase y veces que la válvula abre y cierra por ciclo, mediante una actuación electrohidráulica, como muestra esquemáticamente la Figura 6.69.

© Ediciones Paraninfo

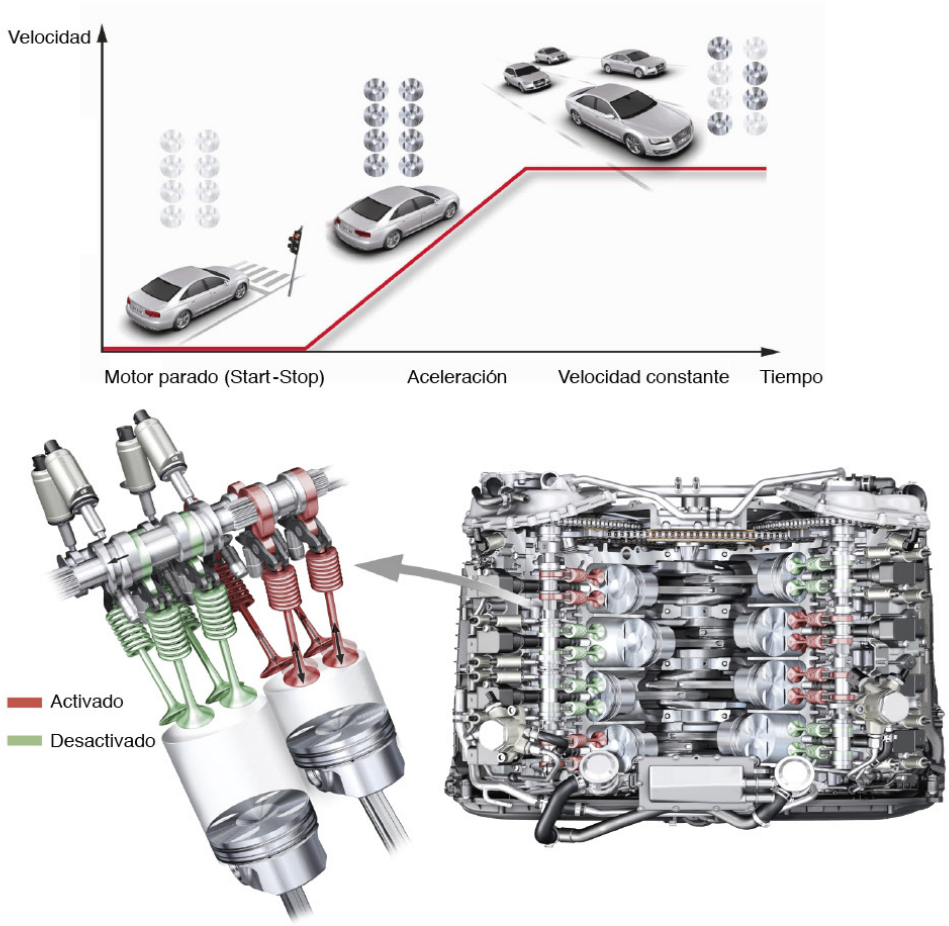


Figura 6.68 *Ejemplo de aplicación del sistema Valvelift para que el número de cilindros con los que funcione el motor varíe en función de las condiciones operativas del mismo.*

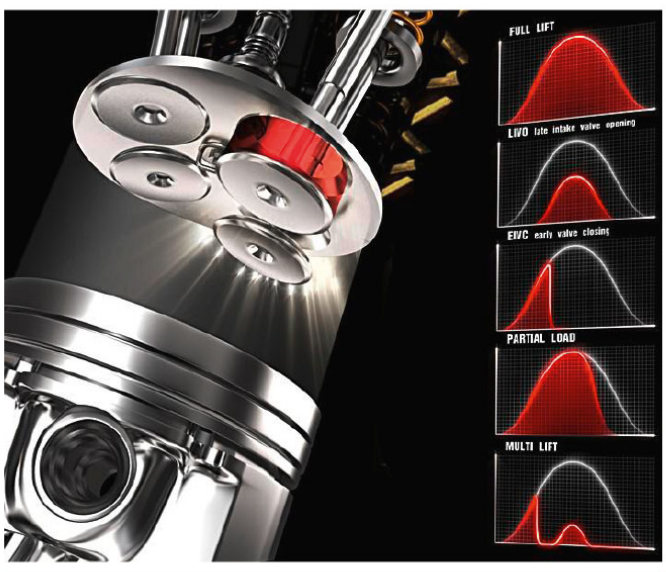


Figura 6.69. *Representación esquemática del control de la apertura de las válvulas de admisión.*

El funcionamiento del sistema es el que muestra la Figura 6.70, donde un único árbol de levas, el de escape (1), contiene las levas de escape (2) y una tercera leva (3), que se va a encargar de empujar el balancín flotante de rodillos (4). La palanca basculante mueve el elemento de bombeo superior (5), que genera presión de aceite a la entrada de la electroválvula (6), que está normalmente abierta. Si la unidad de control del motor excita la electroválvula, cierra el retorno del aceite y este se dirige a través de los conductos (7) hacia el freno hidráulico (8). El freno hidráulico se encarga de accionar la válvula de admisión (9), controlar el acoplamiento de la válvula en su asiento y absorber las holguras mediante un taqué hidráulico. Un acumulador de aceite (10) se encarga de mantener una reserva de aceite preparado para el ciclo siguiente.

Este sistema tiene que asegurar un suministro adecuado de aceite a la cámara de alta presión en cualquiera de las siguientes circunstancias:

- En la fase de arranque del motor.

© Ediciones Paraninfo

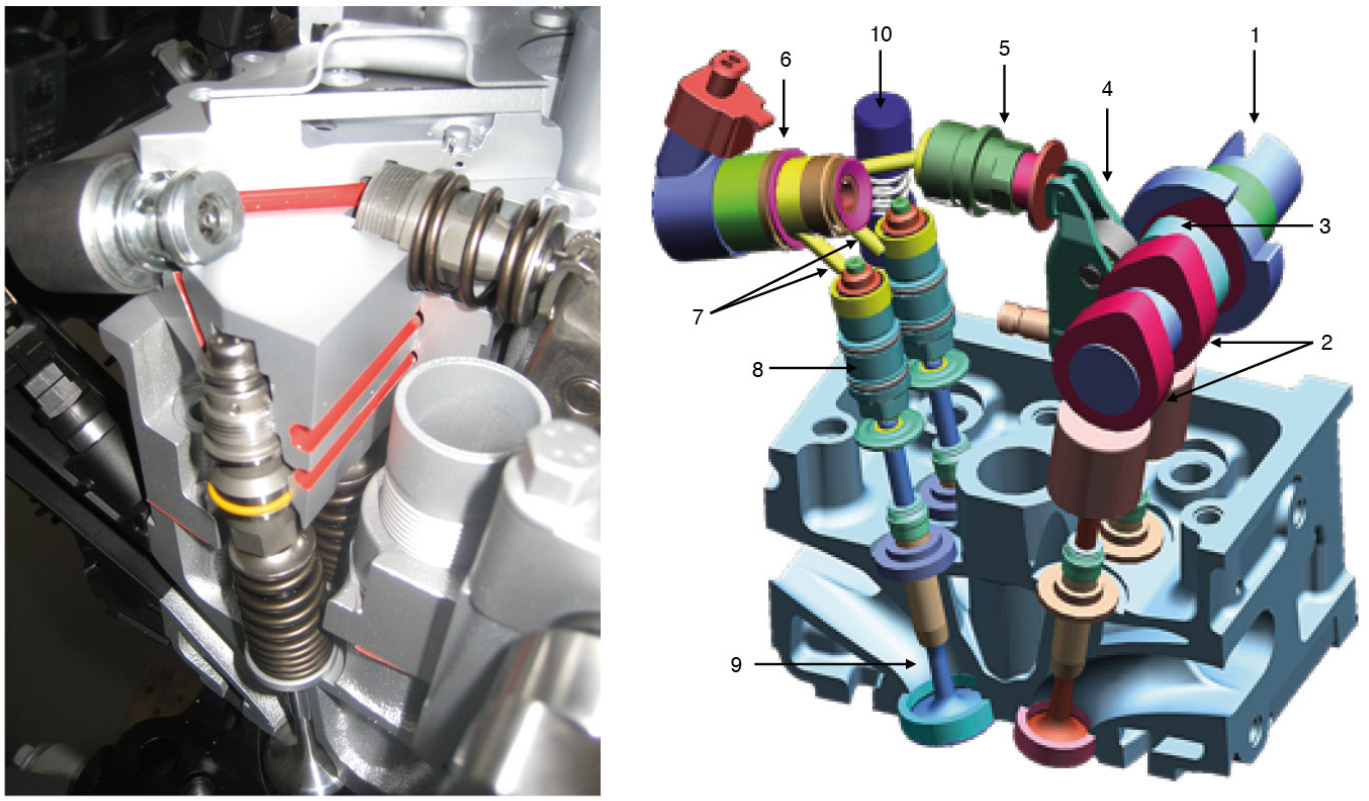


Figura 6.70. *Funcionamiento del sistema Multiair.*

- Cuando el aceite está frío.
- En cualquier posición de la tercera leva de accionamiento del árbol de levas de escape.
- Cuando se produzcan pequeñas fugas de aceite estando este caliente y poco viscoso.

Para minimizar estos fenómenos, el módulo incluye determinadas reservas de aceite, colocadas en una posición más elevada, que aseguran el suministro a la cámara de alta presión. Por otro lado, se instalan ciertos orificios de purga para eliminar el aire del circuito antes de que llegue a dicha cámara. En la Figura 6.71 se tiene un esquema simplificado del circuito de aceite del módulo Multiair para uno de los cilindros, donde se puede observar que el lubricante a presión procedente de la bomba llega hasta la primera reserva de aceite, donde gracias a un orificio de purga se eliminan las posibles burbujas de aire. Después, el fluido atraviesa una válvula antirretorno y llega a la segunda reserva de aceite, que también dispone de un orificio de purga. Esta segunda reserva se encuentra comunicada con un acumulador hidráulico, que por medio de su émbolo y la acción del muelle, asegura el reabastecimiento de aceite en el siguiente ciclo de ese cilindro. Tras la segunda reserva, el aceite pasa a través de la electroválvula y de ahí a la cámara de alta presión, donde el elemento de bombeo superior genera la alta presión para aplicarla sobre los frenos hidráulicos que desplazan y a su vez compensan el juego de las válvulas de admisión.

Con el control electrónico de la electroválvula se puede modificar el accionamiento de la válvula de admisión y conseguir los siguientes modos de funcionamiento:

- ***Full lift* o apertura máxima:** corresponde a la total apertura de la válvula de admisión como si de un motor convencional se tratara (Figura 6.72.1). Este modo se activa cuando se demanda potencia al motor.
- **LIVO (*Late Intake Valve Opening*) o retraso de la apertura de válvulas:** el sistema funciona en este modo cuando el motor está al ralentí (Figura 6.72.2). El aire entra a gran velocidad, mejorando la mezcla y la combustión.

Sabías que...

En los motores Multiair el control de la entrada de aire al cilindro es tan preciso que no es necesaria la mariposa de gases para regular la carga del motor.

© Ediciones Paraninfo

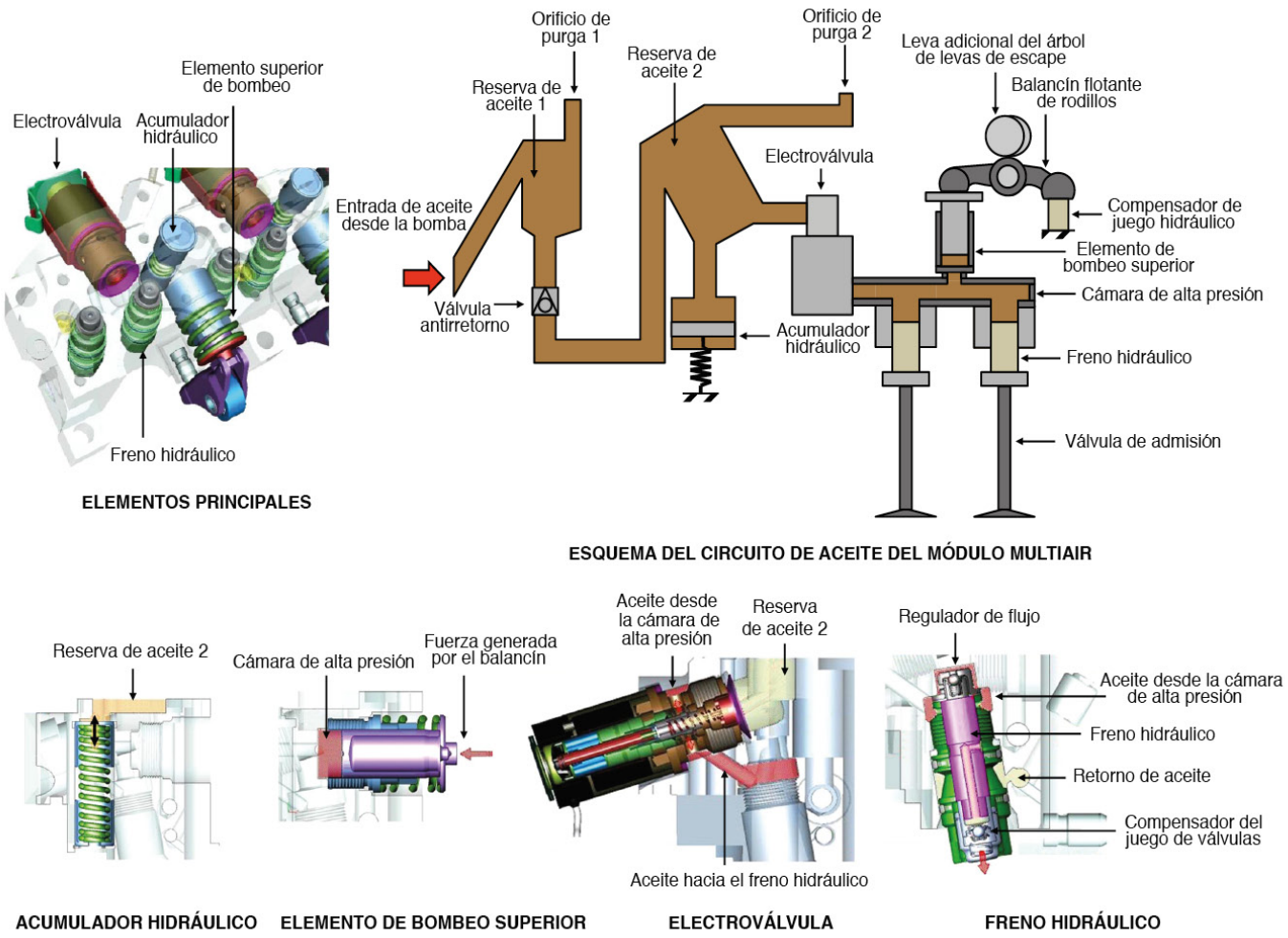


Figura 6.71. *Esquema del circuito de aceite del módulo Multiair y elementos principales del mismo.*

- ***Partial load* o carga parcial:** en este modo, se adelanta el cierre de la válvula (Figura 6.72.3). Se emplea cuando se quiere mantener una velocidad de crucero.
- **EIVC (*Early Intake Valve Closing*):** es similar al anterior, se adelanta el cierre (Figura 6.72.4), pero no tanto. El sistema entra en este modo cuando el motor está a media carga pero se desea aumentar el par, como por ejemplo, subiendo una pendiente.
- ***Multilift* o aperturas múltiples:** este modo se emplea para ciclos urbanos, ralentí y cuando los vehículos

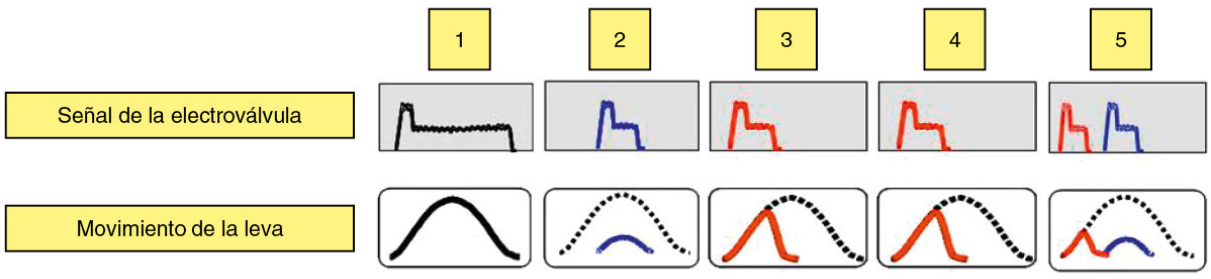


Figura 6.72. *Modos básicos de funcionamiento del sistema Multiair.*

© Ediciones Paraninfo

equipados con el sistema Start & Stop tienen activado este sistema. Con el *multilift* (Figura 6.72.5) se consigue un menor consumo de combustible.

Se han explicado los modos básicos de funcionamiento, pero con el sistema Multiair se pueden conseguir infinitas configuraciones para la apertura de las válvulas de admisión.

6.4.4. La sobrealimentación

Aunque los sistemas de sobrealimentación son sistemas auxiliares del motor, es interesante explicar cuál es el objeto de este método para mejorar la carga del cilindro. Para ello se va a tomar una de las expresiones que tiene la potencia efectiva de un motor:

$$N_e = V_T \cdot n \cdot i \cdot \rho_a \cdot F \cdot H_C \cdot \eta_e \cdot \eta_V$$

Donde:

N_e es la potencia efectiva del motor.

V_T es la cilindrada del motor.

n es la velocidad de giro del motor.

i es el número de ciclos por vuelta, siendo 1/2 para motores de cuatro tiempos y 1 para motores de dos tiempos.

ρ_a es la densidad del aire de entrada al motor.

F es el dosado o relación combustible/aire que tiene el motor en cada momento.

H_C es el poder calorífico del combustible.

η_e es el rendimiento efectivo del motor.

η_V es el rendimiento volumétrico del motor.

Gracias a la expresión anterior, podemos analizar uno por uno los parámetros influyentes a la hora de aumentar la potencia de un motor:

- **La cilindrada:** antiguamente era el método más utilizado para aumentar la potencia, pero hoy en día, con el ahorro de costes de fabricación y la tendencia *downsizing* de los motores, se hace prácticamente inviable esta solución, aunque se sigue utilizando para motores de muy altas prestaciones.

Sabías que...

La filosofía *downsizing* consiste en aumentar la potencia específica de los motores, es decir, la potencia en relación al peso o cilindrada del motor. De esta forma se tienen motores potentes de cilindrada pequeña. La sobrealimentación es un punto clave para conseguir este objetivo.

- **El régimen de giro:** como ya se estudió anteriormente, la potencia es directamente proporcional al régimen de giro del motor, pero dadas las limitaciones mecánicas existentes, los regímenes de giro han de estar acotados.
- **El número de ciclos por vuelta:** está fijado para cada tipo de motor en función de si es de dos o de cuatro tiempos. Para modificarlo habría que diseñar un motor que realizara más ciclos por vuelta, y esto es complicado si se piensa en motores de combustión interna alternativos.
- **El dosado:** varía en límites muy estrechos si se desea que el motor funcione correctamente y las emisiones contaminantes sean reducidas, con lo cual, es difícilmente modificable.
- **El poder calorífico del combustible:** también es difícil de modificar dados los tipos de combustibles disponibles en el mercado.
- **El rendimiento efectivo del motor:** actualmente está muy conseguido, ya que las pérdidas mecánicas en los motores han sido reducidas al máximo, con lo cual ya se tiene un valor mínimo para este parámetro.
- **El rendimiento volumétrico:** a lo largo de este tema ya se han explicado las diferentes soluciones para mejorar el rendimiento volumétrico del motor, que son muy efectivas dependiendo de cada caso, pero para conseguir grandes incrementos de potencia no son suficientes.

Se han analizado todos los parámetros menos uno, la densidad del aire. Este parámetro es fácilmente modificable si se instala un sistema de sobrealimentación que comprime el aire de entrada al motor. Al comprimir el aire, este aumenta su densidad, es decir, que aumenta la cantidad de oxígeno en el fluido de admisión. Consecuentemente, es necesario aumentar la cantidad de combustible para obtener un dosado óptimo. Al comprimir el aire aumenta la presión a la entrada del motor, durante la fase de admisión. Si se parte de una presión en la admisión superior, se conseguirá una presión mayor al final de la compresión y, por tanto, una presión de combustión mayor, haciendo que la fase de expansión realice un mayor trabajo. Como consecuencia aumenta el par motor y, a su vez, la potencia, de forma considerable.

Aunque no se van a explicar con detalle los sistemas de sobrealimentación, se va a hacer una clasificación de los mismos:

- **Compresores mecánicos:** son movidos mecánicamente por el motor mediante correa, cadena o engranajes. Suelen ser de tipo volumétrico, es decir, mantienen la relación de compresión con el régimen de giro del motor. Tienen la ventaja de ser muy simples y que el caudal suministrado varía linealmente con las revoluciones por minuto. Como inconveniente tienen que son voluminosos

© Ediciones Paraninfo

y pesados, hacen bastante ruido, roban energía al motor y no consiguen grandes niveles de sobrealimentación. Algunos ejemplos de este tipo de compresores son:

- Compresor de lóbulos o Roots.
- Compresor Lysholm.
- Compresor G.
- Compresor de paletas o Comprex.

- **Turbocompresores:** están compuestos por una turbina, movida por los gases de escape, y un compresor, unido rígidamente a la turbina, que comprime el aire como muestra la Figura 6.73.

La ventaja de los turbocompresores es que aprovechan la energía de los gases de escape, sin quitar energía mecánica al motor, además de pesar menos y permitir grados de sobrealimentación elevados. Por otro lado tienen el inconveniente de generar tensiones térmicas elevadas y que requieren de un estudio exhaustivo a la hora de acoplarlos al motor, ya que son dos máquinas diferentes, una de flujo discontinuo (motor) y otra de flujo continuo (turbocompresor). Los turbocompresores se clasifican según su sistema de regulación en:

- Turbocompresores sin regulación.
- Turbocompresores con válvula de descarga *wastegate*.
- Turbocompresores de geometría variable.

Actualmente existen tecnologías de sobrealimentación que combinan el funcionamiento de un compresor mecánico y de un turbocompresor a la vez. Además, con la ayuda de la gestión electrónica, es posible una regulación precisa del grado de sobrealimentación del motor.

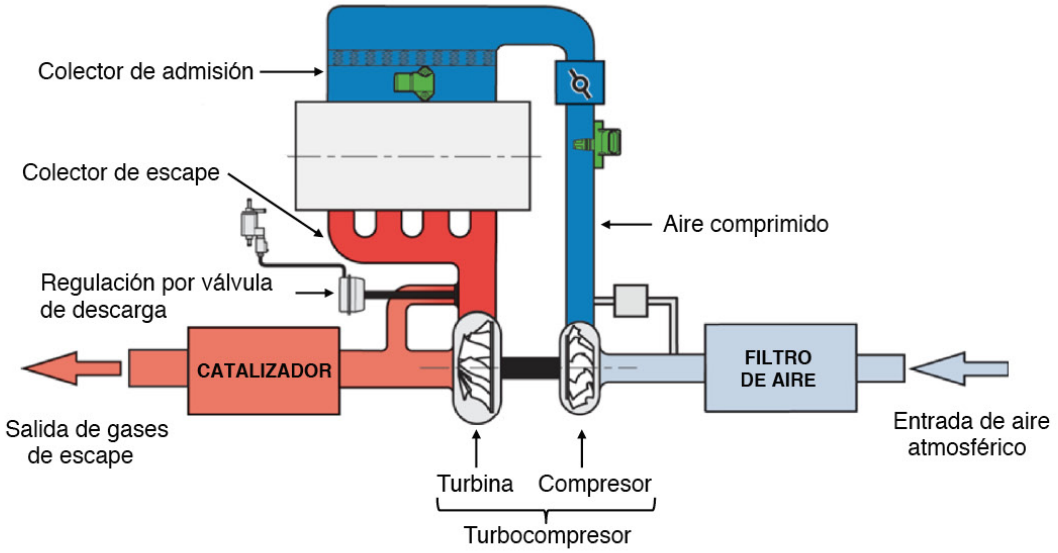


Figura 6.73. *Funcionamiento genérico de un turbocompresor.*

6.5. El sistema de escape en motores de cuatro tiempos

El sistema de escape es el encargado de conducir los gases residuales del motor desde el colector de escape hasta el exterior, normalmente en la parte posterior del vehículo, a través del tubo de escape. Si estos gases se expulsaran directamente a la salida del motor, se generaría un nivel de ruido muy elevado, siendo molesto para los ocupantes del vehículo, para las personas próximas al mismo y no cumpliría con la normativa vigente. Es por esto que el tubo de escape tiene la función de reducir este nivel de ruido a través del silenciador o silenciadores, dependiendo del tipo de motor. Por otro lado, si los gases no se expulsaran en un lugar lejano al vano motor, estos podrían entrar en el habitáculo con el peligro que conlleva al ser tóxicos. Además, dada la alta temperatura a la que salen por el colector de escape, es necesario algún sistema que la reduzca antes de su salida al exterior. A todo lo anterior hay que añadir que dependiendo del tipo de motor y de la normativa anticontaminación que tenga que cumplir, puede ser necesario disponer de elementos de tratamiento de los gases a lo largo de la línea de escape.

Se puede decir que el sistema de escape ha de cumplir las siguientes funciones básicas:

© Ediciones Paraninfo

- Expulsar al exterior los gases resultantes de la combustión de la forma más eficiente posible.
- Reducir el nivel de ruido de los gases de escape.
- Impedir la introducción de gases nocivos en el habitáculo.
- Reducir la temperatura de los gases antes de su expulsión al exterior.
- Tratar los gases de escape en función del tipo de motor y de la norma anticontaminación.

El colector de escape tiene un aspecto parecido al colector de admisión, siendo los materiales de fabricación más habituales la fundición de hierro para geometrías simples, y el acero inoxidable para geometrías complejas y motores de mayores prestaciones. El colector de escape se atornilla a la culata interponiendo una junta que soporte adecuadamente la presión y la temperatura de los gases. La elección de la geometría del colector de escape resulta de vital importancia a la hora de mejorar el llenado del motor. Por este motivo ha de trabajar de forma sincronizada con el colector de admisión. El colector de admisión ha de facilitar la entrada de gases frescos y el de escape facilitar la evacuación de los gases quemados. El objetivo es aprovechar los efectos resonantes de los gases en ambos colectores para ayudar a que entren en el cilindro, en el caso del colector de admisión, o que se expulsen al exterior, en el caso del colector de escape.

A modo de ejemplo, se van a explicar las partes del tubo de escape a través de la Figura 6.74, que representa la línea de escape de un motor de gasolina con y sin catalizador. El inicio de la línea de escape (1) se une al colector de escape interponiendo una junta adecuada. Suele ser necesario que parte del tubo de escape sea flexible (2) con el fin de absorber el movimiento de cabeceo del motor. En los vehículos con catalizador es imprescindible que la sonda lambda (3) alcance lo más rápido posible su temperatura de funcionamiento, sobre todo si no es calefactada, por lo que se instala próxima a la salida del motor. Dadas las altas temperaturas que alcanza el escape, principalmente en el primer tramo, se suelen montar unos protectores térmicos para evitar el riesgo de incendio, por si el conducto de escape entra en contacto con ciertos materiales o pasto seco, a la vez que previenen la transferencia de calor al habitáculo. El catalizador (6) se encarga de reducir las emisiones contaminantes y se une a la línea de escape interponiendo las juntas correspondientes (5). En el modelo sin catalizador, este se sustituye por un silenciador (8), a

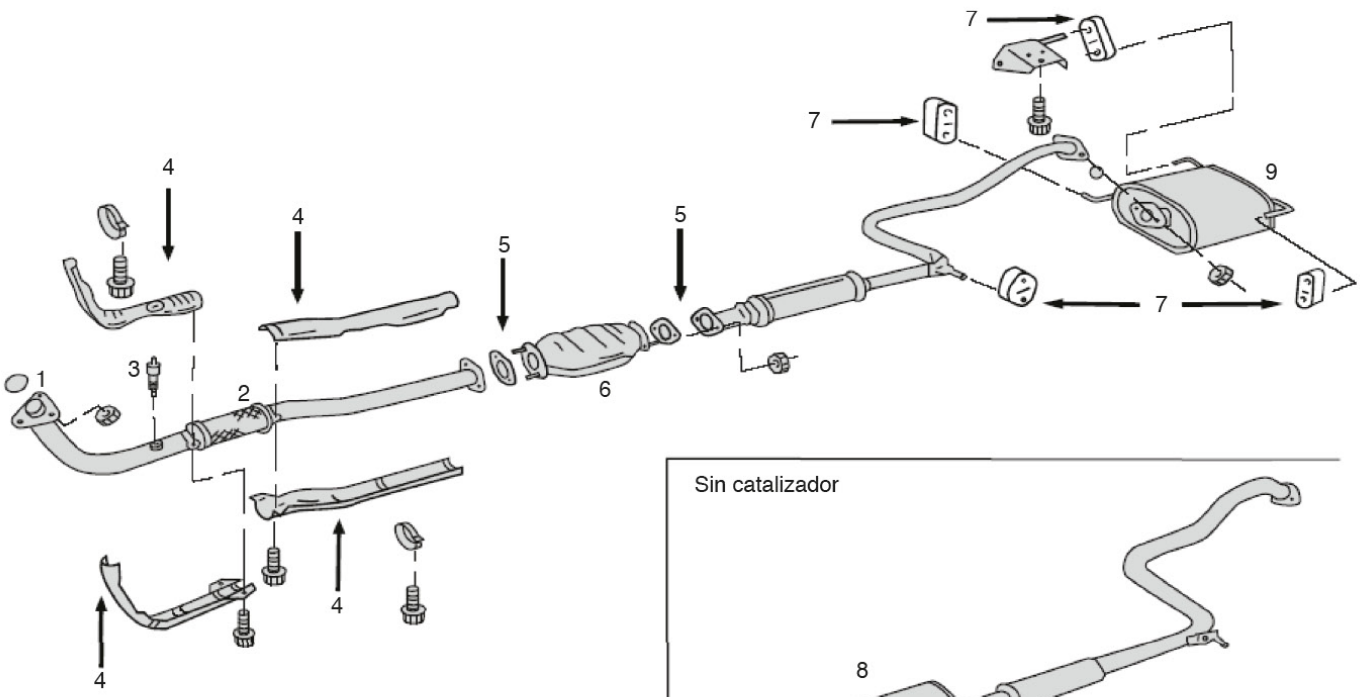


Figura 6.74. *Ejemplo de un sistema de escape de un motor de gasolina, con catalizador y sin catalizador.*

© Ediciones Paraninfo

veces llamado presilenciador. La línea de escape está suspendida de la carrocería a través de unos soportes elásticos (7) que suelen ser de caucho para amortiguar el movimiento y las vibraciones. Por último, se dispone de un silenciador final (9).

Los silenciadores disminuyen el ruido de los gases de escape reduciendo la presión progresivamente. A la salida del colector, los gases tienen una elevada presión y si se expulsan directamente a la atmósfera generarían un nivel de ruido muy grande. A través de los silenciadores, con recorridos sinuosos y tubos perforados interiores, la vena de gas va perdiendo energía y a la salida del tubo de escape la presión es similar a la atmosférica, por lo que el nivel de ruido es mucho más bajo.

Existen tres formas principales de reducir el ruido en los silenciadores:

- **Absorción:** con la inserción de materiales de insonorización, como lana de roca o lana de acero, las frecuencias altas que resultan especialmente molestas son absorbidas y su energía acústica se convierte en calor por fricción.
- **Reflexión:** utilizando una geometría adecuada en el silenciador, se consigue neutralizar la onda sonora por reflexión (efecto eco) de la misma onda con fase contraria.
- **Interferencia:** con este método, la energía de la onda sonora se va reduciendo por las colisiones que se producen al forzarla a girar en recorridos de diferente longitud, dependientes de la geometría interna del silenciador.

La Figura 6.75 representa esquemáticamente estos tres fenómenos.

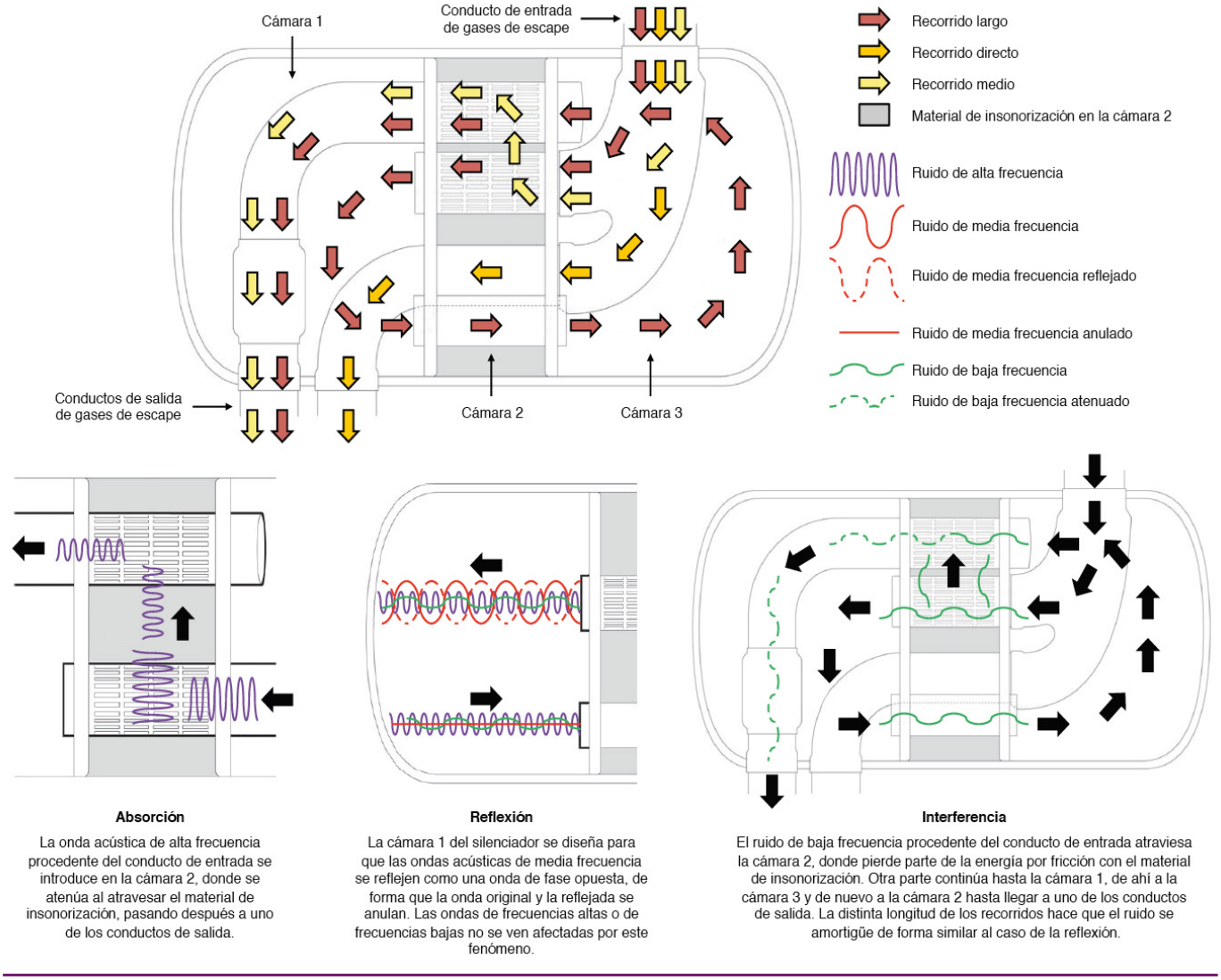


Figura 6.75. *Reducción de la energía acústica de los gases de escape dentro de un silenciador.*

© Ediciones Paraninfo

Algunos motores incorporan unas chapaletas en la salida de los silenciadores secundarios, teniendo un sistema como el mostrado en la Figura 6.76. Cuando el motor está funcionando a escaso régimen de giro, se consiguen eliminar ruidos de baja frecuencia. A medida que el motor desarrolla potencia y aumenta su régimen de giro, las chapaletas abren una sección adicional y se elimina en gran medida la contrapresión en el escape, reduciendo también el nivel de ruido en estas condiciones. En general, las chapaletas permanecen cerradas al régimen de ralentí y en condiciones de funcionamiento de pocas revoluciones y poca carga. El funcionamiento de este sistema es gestionado por la unidad de control del motor, activando o desactivando unas electroválvulas que gobiernan el vacío aplicado a unas cápsulas neumáticas que mueven las chapaletas. Normalmente, para abrir o cerrar las chapaletas, la unidad de control del motor tiene en cuenta el régimen de giro, la demanda de carga y la marcha introducida en la caja de cambios.

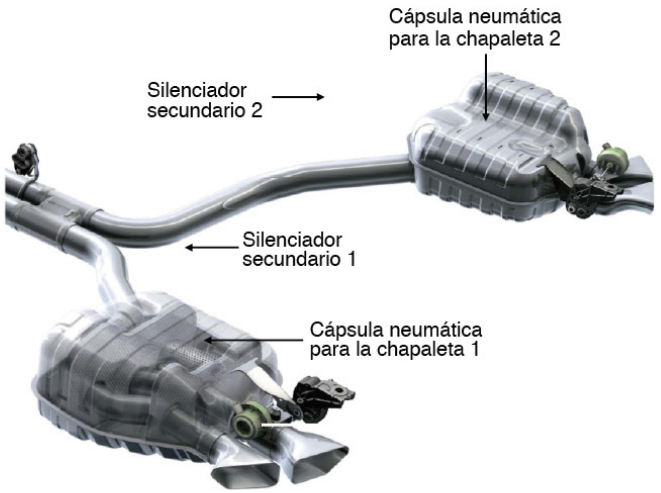
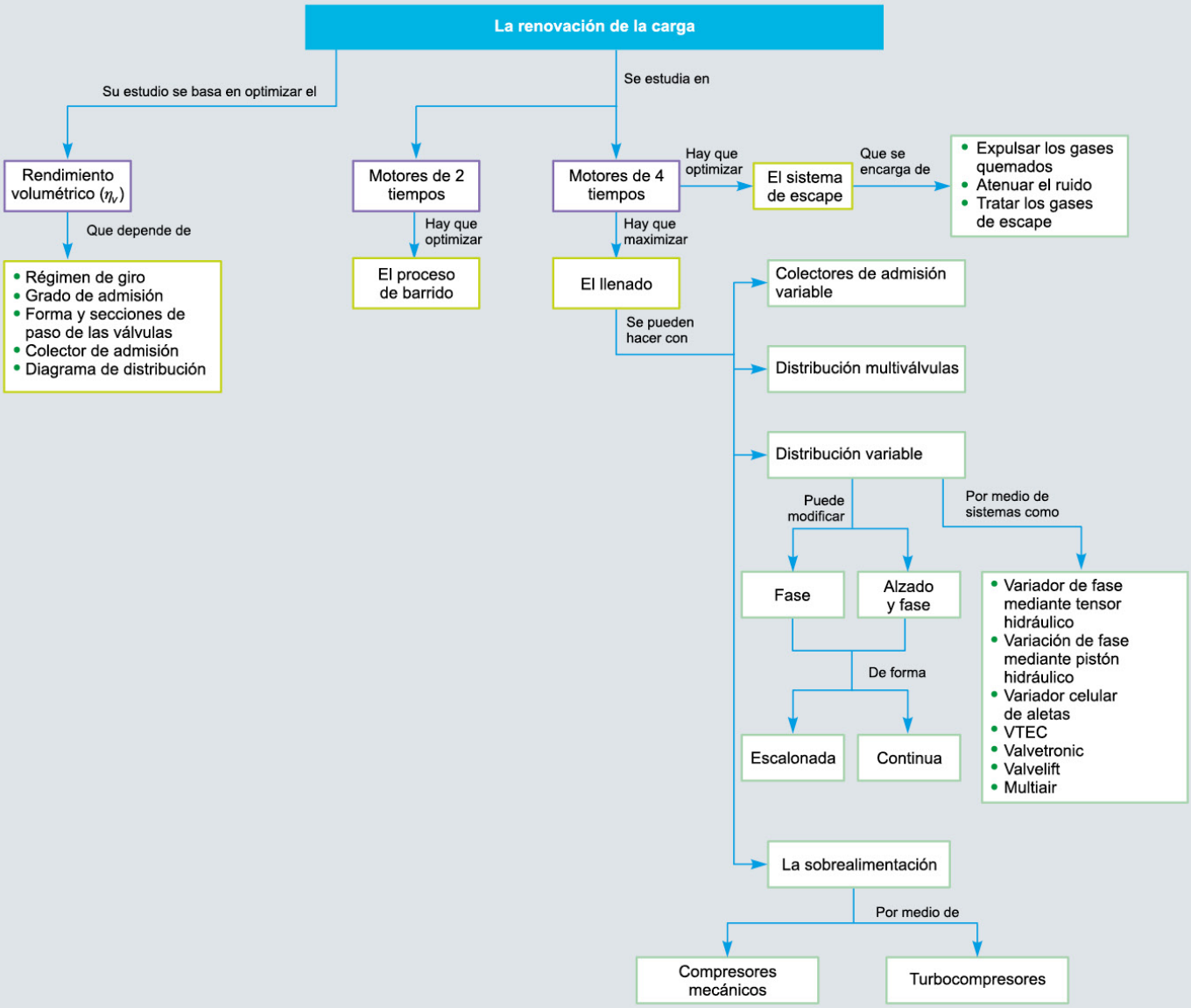


Figura 6.76. *Sistema de chapaletas en las salidas de los silenciadores secundarios.*

© Ediciones Paraninfo



© Ediciones Paraninfo

ACTIVIDADES FINALES

La renovación de la carga

COMPRUEBA

6.1. El sistema de barrido empleado en los motores de dos tiempos que consiste en disponer las lumbreras de admisión y escape de forma diametralmente opuestas es:

a) El transversal.

b) El de lazo.

c) El equicorriente o uniflujo.

d) Ninguno de los anteriores.

6.2. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta en relación a la geometría del colector de admisión?

a) Conductos cortos y estrechos favorecen el funcionamiento a bajo y medio régimen y conductos largos y anchos lo hacen a alto régimen.

b) Conductos cortos y anchos favorecen el funcionamiento a bajo y medio régimen y conductos largos y estrechos lo hacen a alto régimen.

c) Conductos largos y anchos favorecen el funcionamiento a bajo y medio régimen y conductos cortos y estrechos lo hacen a alto régimen.

d) Conductos largos y estrechos favorecen el funcionamiento a bajo y medio régimen y conductos cortos y anchos lo hacen a alto régimen.

6.3. La forma de la cámara de combustión más empleada en las distribuciones multiválvulas es:

a) La de bañera.

b) La de cuña.

c) La hemisférica.

d) Ninguna de las anteriores.

6.4. Los sistemas de distribución variable pueden:

a) Modificar la fase entre el árbol de levas de admisión y/o del de escape.

b) Modificar la alzada de las válvulas de admisión.

c) En algunos sistemas modernos controlar la entrada de gases y prescindir de la mariposa de gases.

d) Todas las respuestas anteriores son correctas.

6.5. El sistema de distribución variable con variador de fase mediante tensor hidráulico modifica:

a) La alzada de las válvulas de admisión.

b) La alzada de las válvulas de escape.

c) La fase del árbol de levas de admisión.

d) La fase del árbol de levas de escape.

6.6. En el sistema de distribución variable con variador de fase mediante pistón hidráulico, el elemento encargado de controlar el recorrido del aceite del sistema de lubricación es:

a) Una electroválvula.

b) Un tensor hidráulico.

c) Un muelle.

d) Una bomba eléctrica.

6.7. Un sistema de distribución variable con variador celular de aletas:

a) Solo puede variar la fase del árbol de levas de admisión.

b) Puede variar la fase del árbol de levas de admisión y de escape.

c) Solo puede variar la alzada de las de admisión.

d) Puede variar la alzada de las válvulas de admisión y de escape.

6.8. El sistema de distribución variable Valvetronic:

a) Modifica la alzada de las válvulas de admisión y escape.

b) Modifica la alzada de las válvulas de admisión.

c) Modifica la alzada de las válvulas de escape.

d) Ninguna de las anteriores.

6.9. El sistema de distribución variable Multiair:

a) Controla la alzada y la fase de las válvulas de admisión.

b) Puede abrir la válvula de admisión varias veces por ciclo.

c) No lleva árbol de levas de admisión.

d) Todas las respuestas anteriores son correctas.

6.10. El objetivo de la sobrealimentación es:

a) Aumentar la densidad del aire.

b) Aumentar la temperatura del aire.

c) Aumentar el poder calorífico del combustible.

d) Aumentar la cilindrada del motor.

REALIZA

6.11. Nombrar cinco factores que afecten al rendimiento volumétrico.

6.12. Calcular el rendimiento volumétrico de un motor de cuatro tiempos de 1600 cm^3 de cilindrada sabiendo

© Ediciones Paraninfo

que está admitiendo una masa de aire de 0,065 kg/s cuando gira a 4000 rpm. Dato: la densidad del aire es de 1,17 kg/m^3.

6.13. Calcular la masa de aire que está admitiendo un motor de 1400 cm^3 de cilindrada sabiendo que está girando a 4500 rpm y que tiene un rendimiento volumétrico en ese punto de funcionamiento del 95 %. Dato: la densidad del aire es de 1,17 kg/m^3.

6.14. Nombrar los tres tipos de barrido más utilizados en los motores de dos tiempos.

6.15. Rellenar la siguiente tabla resumen de los sistemas de distribución variable estudiados indicando si modifican la alzada de la válvula y/o la fase de los árboles de levas.

Tipo de sistema de distribución variable	Modifica la alzada	Modifica la fase
Sistema de distribución variable con variador de fase mediante tensor hidráulico		
Sistema de distribución variable con variador de fase mediante pistón hidráulico		
Sistema de distribución variable con variador celular de aletas		
Sistema de distribución variable VTEC		
Sistema de distribución variable Valvetronic		
Sistema de distribución variable Valvelift		
Sistema de distribución variable Multiair		

6.16. Explicar qué modificaciones puede hacer en el mecanismo de distribución el sistema de distribución variable con variador de fase mediante tensor hidráulico.

6.17. Explicar qué modificaciones puede hacer en el mecanismo de distribución el sistema de distribución variable con variador celular de aletas.

6.18. Explicar qué modificaciones puede hacer en el mecanismo de distribución el sistema de distribución variable Valvetronic.

6.19. Explicar qué modificaciones puede hacer en el mecanismo de distribución el sistema de distribución variable Valvelift.

6.20. Explicar qué modificaciones puede hacer en el mecanismo de distribución el sistema de distribución variable Multiair.

INVESTIGA

6.21. Analizar documentación técnica relativa a motores de dos tiempos, ya sean gasolina o diésel y describir los diferentes tipos de sistemas de barrido empleados para cada motor en particular.

6.22. Buscar en diferentes manuales de taller o en revistas técnicas motores que incorporen sistemas de admisión variable. Analizar varios modelos e indicar componentes del sistema y modos de funcionamiento.

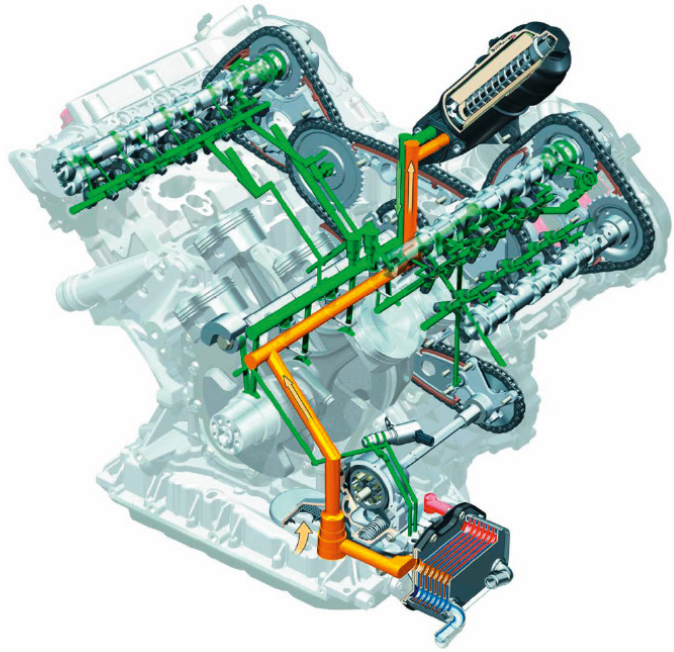
6.23. Hacer un análisis pormenorizado de los diferentes sistemas de distribución variable que pueden encontrarse en el mercado y señalar si regulan alzada de válvulas, fase, si lo hacen en el árbol de levas de admisión o en el de escape y si la regulación que tienen es continua o no.

6.24. Con los datos obtenidos en el ejercicio anterior, esbozar los diagramas de distribución de cada sistema para cada modo de funcionamiento, indicando el objetivo que tiene cada uno de ellos.

6.25. Buscar al menos cinco modelos de vehículos cuyos motores dispongan de admisión variable, distribución variable y sobrealimentación. Hacer una comparativa de la cifra de par y de potencia entre los mismos.

© Ediciones Paraninfo

El sistema de lubricación



7

CONTENIDOS

7.1. Principios de lubricación
7.2. Lubricantes
7.3. El sistema de lubricación
7.4. Gestión electrónica de la lubricación del motor
7.5. Mantenimiento, averías y comprobaciones del sistema de lubricación

OBJETIVOS

- Definir los principios básicos de la lubricación.
- Comprender la necesidad de disponer de un sistema de lubricación.
- Analizar las funciones y propiedades que ha de tener un aceite lubricante.
- Conocer las diferentes clasificaciones de los lubricantes.
- Describir el funcionamiento del sistema de lubricación.
- Analizar los elementos que componen el sistema de lubricación.
- Conocer las posibles averías que puede tener el sistema de lubricación.
- Realizar las operaciones de mantenimiento y verificación del sistema de lubricación.

La lubricación del motor juega un papel muy importante a la hora de reducir el desgaste del motor, ya que trata de evitar el contacto directo de las partes móviles.

El aceite tiene otras funciones adicionales, como refrigerar, ayudar a la estanqueidad, limpiar los conductos, evitar la oxidación, entre otras, además de ser capaz de mantener sus propiedades con el tiempo.

En este capítulo se van a explicar los principios básicos de la lubricación, así como las características y clasificación de los lubricantes. Posteriormente se analizará con detalle el sistema de lubricación a presión, por ser el más empleado en vehículos automóviles. Por último se explicarán las operaciones de mantenimiento, posibles averías y comprobaciones del sistema de lubricación.

7.1. Principios de lubricación

7.1.1. Funciones de la lubricación

El sistema de lubricación del motor debe de cumplir las siguientes funciones:

- **Disminuir el rozamiento:** el contacto sólido-sólido genera desgastes prematuros en las piezas que están sometidas a fricción, generando una gran cantidad de calor. Además, al aumentar la fuerza de rozamiento entre dos piezas móviles, esta se opone al movimiento disminuyendo la potencia del motor.
- **Refrigerar:** el lubricante también tiene la capacidad de evacuar calor en piezas sometidas a mucha temperatura. Posteriormente es enfriado en el radiador de aceite o en el cárter. Además, por el mero hecho de disminuir el rozamiento el aceite está refrigerando el motor.
- **Favorecer la estanqueidad:** la película de aceite que queda entre los segmentos del motor aumenta la estanqueidad entre estos y el cilindro.
- **Eliminar impurezas:** el aceite transporta pequeñas partículas desprendidas de los elementos por desgaste, residuos carbonosos, polvo… llevándolas por el sistema de lubricación hasta el filtro, donde quedan retenidas y dejan de circular por el sistema para que no dañen otros elementos.
- **Proteger contra la corrosión:** los lubricantes tienen propiedades anticorrosivas que pueden mejorarse con aditivos específicos con el fin de proteger de la corrosión a elementos metálicos y aleaciones que componen el motor.

Recuerda que…

En una superficie plana la fuerza normal a la superficie coincide con el peso.

En una superficie inclinada la fuerza normal a la superficie es la componente del peso en la dirección perpendicular a la superficie. De hecho, el peso se descompone en una superficie paralela a la superficie y en otra perpendicular a la misma.

7.1.2. Leyes de la fricción

Las leyes básicas de la fricción o leyes de Coulomb son las siguientes:

- **La fuerza de rozamiento es proporcional a la carga normal:** la fuerza de rozamiento es una fuerza que se opone al movimiento. En una superficie plana la fuerza normal a la superficie coincide con el peso, según la

Figura 7.1. En una superficie inclinada la fuerza normal a la superficie es la componente del peso en la dirección perpendicular a la superficie. De hecho, el peso se descompone en una superficie paralela a la superficie y en otra perpendicular a la misma.

$$F_T = P \cdot \text{sen}\ \alpha$$

$$F_N = P \cdot \cos \alpha$$

Donde:

P es el peso.

F_T es la fuerza tangencial paralela a la superficie de deslizamiento.

F_N es la fuerza normal perpendicular a la superficie de deslizamiento.

α es el ángulo que forma la superficie con la horizontal.

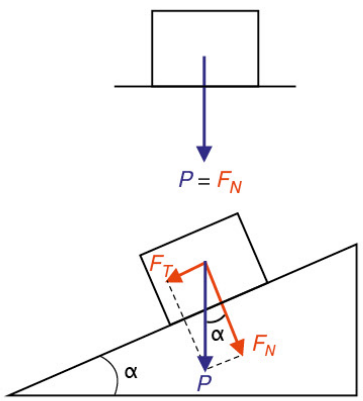


Figura 7.1. *Obtención de la fuerza normal a la superficie en una superficie plana y en una inclinada.*

Si se quiere deslizar un bloque con un peso (P) sobre una superficie plana, habrá que aplicar una fuerza (F) para desplazarlo, como muestra la Figura 7.2. La fuerza (F) debe ser mayor a la fuerza de rozamiento (F_R) para que el movimiento se inicie. Si se pone encima otro bloque igual, el peso del conjunto es ($2P$), y para moverlo hará falta una fuerza ($2F$). Como en una superficie plana la carga normal o perpendicular a la superficie es el peso, queda demostrada esta ley. De esto se deduce que la fuerza de rozamiento F_R es proporcional a la fuerza normal a la superficie F_N, siendo la constante de proporcionalidad el coeficiente de rozamiento, que se designa por la letra griega μ.

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

Donde:

F_R es la fuerza de rozamiento.

μ es el coeficiente de rozamiento.

F_N es la fuerza normal perpendicular a la superficie de deslizamiento.

© Ediciones Paraninfo

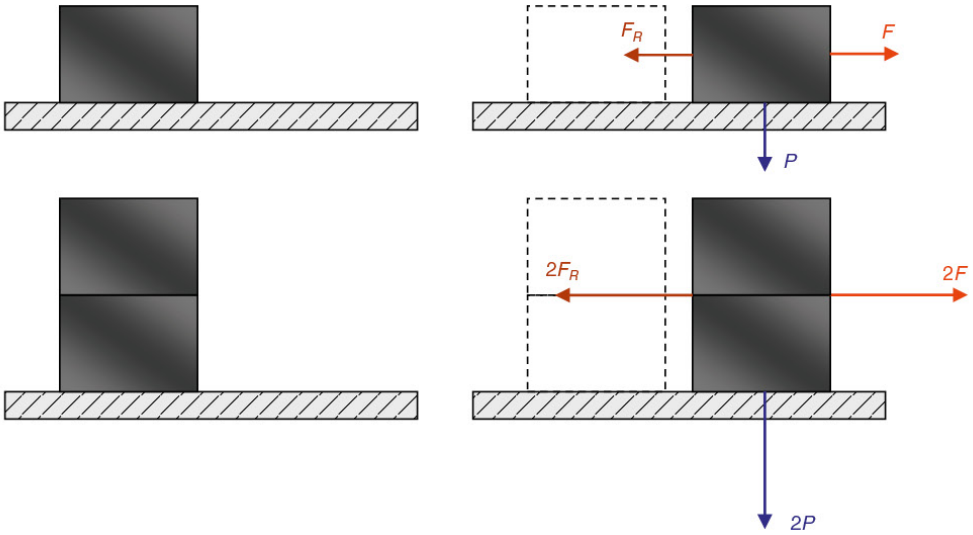


Figura 7.2. *Demostración de que la fuerza de rozamiento es proporcional a la carga normal.*

- **La fuerza de rozamiento es independiente del área de las superficies en contacto:** si se supone un bloque sobre una superficie plana, como el mostrado en la Figura 7.3, para iniciar su movimiento es necesario aplicar una fuerza F independientemente de la cara sobre la que esté apoyado.

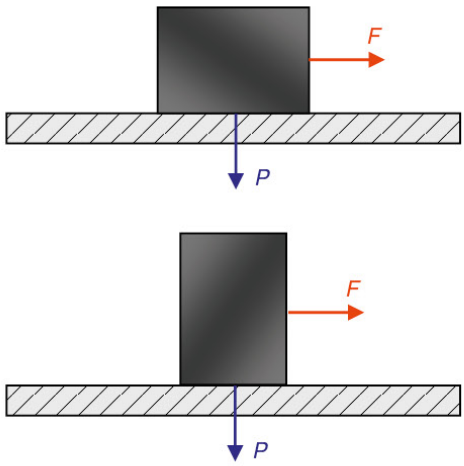


Figura 7.3. *Demostración de que la fuerza de rozamiento es independiente del área de las superficies en contacto.*

- **La fuerza de rozamiento depende de la naturaleza de las superficies en contacto:** si se compara un bloque de acero de un peso (P) con un bloque de hielo del mismo peso, resulta fácil observar, como indica la Figura 7.4, que el bloque de acero necesita una pendiente más pronunciada para iniciar el movimiento que el bloque de hielo. Esto es debido a que el coeficiente de fricción entre el hielo y la superficie es menor que entre el acero y la misma superficie, necesitando una inclinación menor para iniciar el movimiento. Por tanto, el valor del coeficiente de rozamiento μ, depende de la naturaleza de las superficies en contacto y se puede calcular como la pendiente mínima necesaria para iniciar el movimiento del objeto, es decir, aquel valor de la tangente del ángulo del plano inclinado, tan α, que hace que se iguale la fuerza tangencial de la descomposición del peso, F_T, con la fuerza de rozamiento F_R.

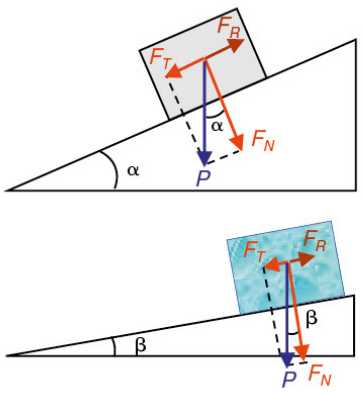


Figura 7.4. *Demostración de que la fuerza de rozamiento depende de la naturaleza de las superficies en contacto.*

7.1.3. Tipos de lubricación

Se distinguen los siguientes tipos o regímenes de lubricación:

- **Hidrodinámica:** si se supone un cojinete y un eje que gira dentro de él a una cierta velocidad de rotación (ω),

© Ediciones Paraninfo

como muestra la Figura 7.5, cuando el eje gira a poca velocidad (ω_1) se produce un contacto entre el eje y el cojinete. Si la velocidad de rotación aumenta (ω_2), las superficies del eje y del cojinete se separan por una película de lubricación gruesa. La presión de la película de lubricante que separa ambos elementos se crea por la propia superficie en movimiento cuando alcanza cierta velocidad (ω_2) en relación con la otra superficie, que en el caso del cojinete no se mueve, absorbiendo el lubricante hacia una zona en forma de cuña (cuña hidrodinámica), que separa las superficies. En este tipo de lubricación, no es necesaria la introducción de aceite a presión pero se requiere un suministro constante.

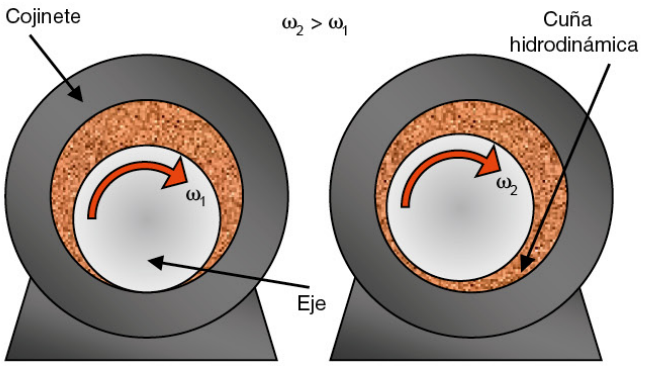


Figura 7.5. *Régimen de lubricación hidrodinámica.*

- **Hidrostática:** este tipo de lubricación se obtiene introduciendo aceite, aire o agua a presión entre las superficies que están en contacto, según la Figura 7.6. La presión del fluido ha de ser lo suficientemente alta como para separar las superficies con una capa de lubricante gruesa. En este caso no es necesario el movimiento relativo de una superficie con respecto a la otra.

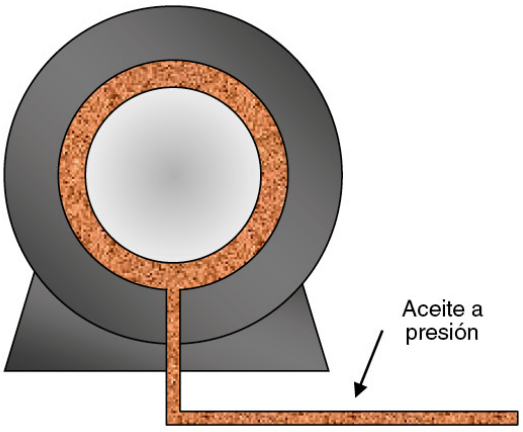


Figura 7.6. *Régimen de lubricación hidrostática.*

- **Elastohidrodinámica:** este es un caso particular de la lubricación hidrodinámica. Se produce en cojinetes sometidos a altas cargas o en engranajes que transmiten mucha potencia, como simboliza la Figura 7.7. En las zonas de contacto aumenta mucho la viscosidad y las superficies se deforman elásticamente, aumentando el área sobre la cual la carga es distribuida. Según va disminuyendo la carga por la evolución del contacto entre dientes, el metal recupera su forma. Así, al inicio del contacto, la carga es reducida y el aceite tiene una cierta viscosidad. Según evoluciona el contacto aumenta la carga, los dientes se deforman y la viscosidad aumenta, quedando compensado el aumento de carga con el aumento de la viscosidad y del área de contacto, manteniendo un régimen de lubricación elastohidrodinámica.

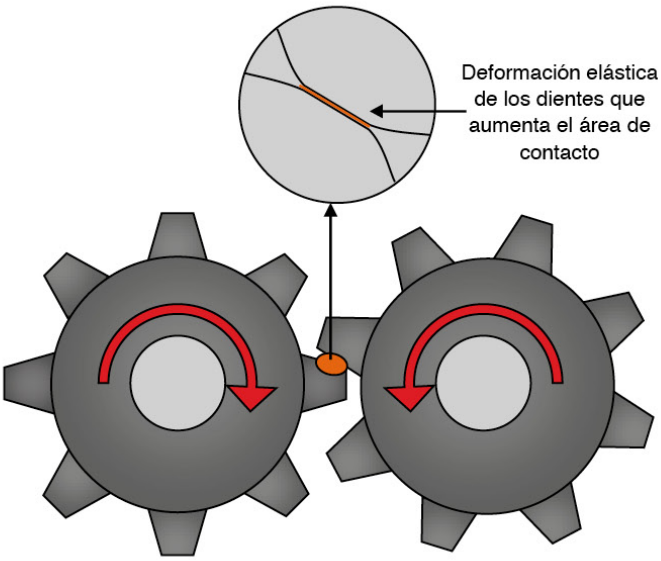


Figura 7.7. *Régimen de lubricación elastohidrodinámica.*

- **Marginal:** este tipo de lubricación se da cuando se cumple alguna de las siguientes condiciones:
  - Área de contacto insuficiente.
  - Aumento de la carga.
  - Disminución de la cantidad de lubricante suministrado.
  - Baja velocidad de la superficie móvil.
  - Incremento de la temperatura del lubricante.

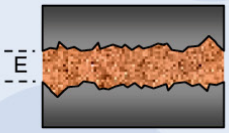
Se produce una disminución de la viscosidad y no hay una capa de lubricante lo suficientemente gruesa como para dar lugar a una lubricación fluida. Puede darse entre ciertas piezas o en transitorios hasta alcanzar un régimen de lubricación hidrodinámica.

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

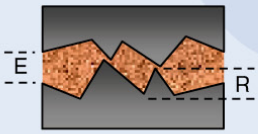
Los tipos de lubricación también se pueden clasificar en:

- **Lubricación por película completa o fluida:** se da cuando el espesor (E) de la película de lubricante es mayor que la rugosidad (R) de las superficies en contacto.



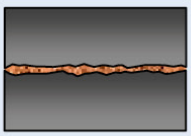
E > R

- **Lubricación mixta:** se da cuando en determinados puntos el espesor es mayor que la rugosidad y en otros es menor, pudiendo existir zonas de contacto.



E ≈ R

- **Lubricación límite:** ocurre cuando el espesor de la película de lubricante es casi inexistente.



E → 0

7.2. Lubricantes

7.2.1. Características de los lubricantes

Los lubricantes están compuestos por aceites de base y posteriormente se les añaden una serie de aditivos que mejoran sus propiedades y las mantienen en el tiempo.

Los aceites de base pueden ser:

- **Minerales:** en este caso provienen de la destilación fraccionada del petróleo y están formados por tres tipos de hidrocarburos: parafínicos, nafténicos y aromáticos. Los compuestos parafínicos se encuentran en una mayor proporción (en torno a un 70 %) y tienen buenas cualidades lubricantes. El resto de elementos sirven para mejorar la estabilidad del aceite con la temperatura, la capacidad disolvente…
- **Semisintéticos:** es difícil encontrar a día de hoy aceites totalmente minerales, en realidad son semisintéticos, es decir, constan de un aceite de base mineral (en torno a un 70-80 %) y otro sintético (sobre un 20-30 %) que mejora las propiedades.
- **Sintéticos:** estos aceites se formulan en laboratorio a partir de ingredientes naturales, fragmentando las moléculas y luego reconstruyéndolas. De esta forma se eliminan las partes de las moléculas que no poseen buenas cualidades lubricantes y se sustituyen por otras que mejoran sus características. Así se pueden controlar las propiedades del aceite de base. Aunque son más caros de fabricar son necesarios porque los aceites minerales tienen ciertas limitaciones.

Los aditivos forman un 15-25 % del lubricante y los más importantes son:

- **Mejoradores de la viscosidad:** permiten que el aceite se mantenga lo suficientemente fluido en frío y que conserve su viscosidad en caliente. Suelen ser polímeros que estabilizan la viscosidad a altas temperaturas (polimetacrilato, copolímeros, derivados de isopreno, derivados de estireno…).
- **Antioxidantes:** reducen la oxidación del aceite debida a la formación de radicales libres en las moléculas que lo componen, que tienen tendencia a captar átomos de oxígeno. Se emplean ditiofosfatos y aminas aromáticas.
- **Reductores del desgaste:** actúan formando una capa protectora, bien directamente o por medio de productos de reacción con las superficies metálicas. Suelen emplearse alquilo-ditiofosfatos de zinc y derivados del fósforo.
- **Detergentes:** evitan la formación de depósitos o barnices, disminuyendo, por ejemplo, la tendencia al engomado de los segmentos. Suelen emplearse sales de calcio o magnesio de las familias de los alquilfenatos o alquilosalicilatos.
- **Dispersantes:** son los encargados de mantener en suspensión las partículas que circulan por el sistema de lubricación, como cenizas, depósitos limpiados por los detergentes… con el fin de ser transportados hasta el filtro y evitar que formen depósitos en las partes más frías del motor. Pueden emplearse, entre otros, los ésteres succínicos.
- **Neutralizantes:** tratan de neutralizar los residuos ácidos procedentes de la combustión, sobre todo en motores diésel. Los fenoles, sulfanatos y salicilatos son buenos neutralizadores. El índice TBN (*Total Base Number*) da una idea de la reserva alcalina que tiene el aceite para poder neutralizar el ácido sulfúrico formado tras la combustión del gasóleo, debido a la presencia de azufre en el

© Ediciones Paraninfo

mismo. Como en la actualidad la cantidad de azufre del gasóleo se ha reducido al nivel de trazas, el TBN es menos relevante.

- **Anticorrosivos:** reducen el ataque a los metales ferrosos, debido a la presencia de agua, oxígeno y de ciertos óxidos formados durante la combustión. Suelen emplearse sales de sodio, magnesio y calcio.
- **Anticongelantes:** ayudan a que el aceite tenga una buena fluidez en frío, a temperaturas de hasta –45 °C, reduciendo la tendencia a la formación de parafinas. Se utilizan copolímeros y poliésteres.
- **Antiespumantes:** por el hecho de generarse turbulencias en el circuito de lubricación y de emplearse aditivos detergentes, se pueden formar espumas que hacen que se mezcle el aire con el aceite generando burbujas. Los aceites de silicona añadidos al aceite disminuyen este fenómeno.
- **Aditivos de extrema presión (EP):** los aditivos de extrema presión protegen las superficies que están sometidas a grandes cargas. Se emplean fundamentalmente en aceites de engranajes, siendo los más comunes los derivados organo-metálicos del molibdeno, moléculas fosfoazufradas, boratos…

Sabías que...

Existen diferentes normas para clasificar los lubricantes:

SAE: Sociedad de Ingenieros de Automoción.

API: Instituto Americano del Petróleo.

ISO: Organización Internacional de Estándares.

ACEA: Asociación de Constructores Europeos de Automóviles.

ASTM: Sociedad Americana de Ensayos de Materiales.

CCMC: Comité de Constructores del Mercado Común

MIL: Estándares Militares de los Estados Unidos.

SHPDO: Aceite de Motor diésel de Super Altas Prestaciones.

NLGI: Instituto Nacional de Grasas Lubricantes.

Otras: que aplican algunos fabricantes y las elevan a estándares de calidad.

7.2.2. La viscosidad

La viscosidad se define como la resistencia de los fluidos a fluir. A la vista de la Figura 7.8, si se dispone de una placa inferior inmóvil y una superior que puede desplazarse aplicando una fuerza (F), estando ambas separadas por una película de aceite, puede observarse que en el detalle 1, aplicando dicha fuerza (F), la placa móvil se mueve con una velocidad (v_1). En el detalle 2, aplicando la misma fuerza (F), la placa móvil se desplaza con una velocidad (v_2). La velocidad v_1 es mayor que v_2 ya que en el primer caso el aceite tiene una viscosidad menor, siendo la fricción interna entre láminas del lubricante también menor que en el segundo.

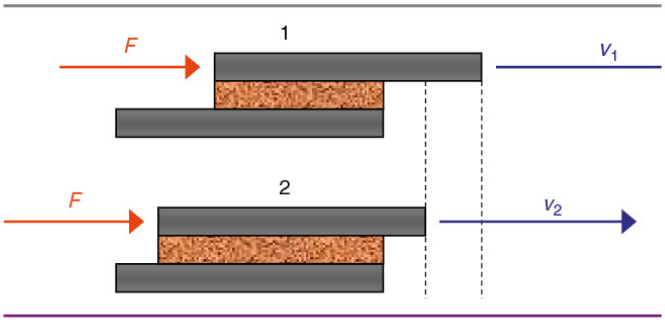


Figura 7.8. *Comparación de aceites con diferente viscosidad.*

7.2.3. Clasificación de los aceites

Los aceites se clasifican en dos grandes bloques, en función de la viscosidad o en función de las condiciones de servicio.

- **Clasificación por la viscosidad o norma SAE:** existen varias escalas para medir la viscosidad del aceite, pero en el caso de los lubricantes de motor se emplean los grados SAE (*Society of Automotive Engineers*), que relacionan la viscosidad del aceite con la temperatura de utilización. La norma SAE J 300 define el grado de viscosidad para cada lubricante. Cuanto más elevado es el número mejor es el mantenimiento de la viscosidad a altas temperaturas. A bajas temperaturas, el aceite tiende a espesarse, aumentando su viscosidad. En frío debe mantenerse muy fluido para que pueda distribuirse por el motor y proteger así las piezas mecánicas que están en movimiento, a la vez que debe favorecer el arranque.

  Los aceites, por tanto, modifican su viscosidad con la temperatura y en función de este fenómeno se distinguen dos tipos de aceites:

  – **Monogrado:** un aceite monogrado mantiene su viscosidad en unas condiciones limitadas de temperatura ambiente. De esta forma, la norma SAE establece los grados de viscosidad que aparecen en la Tabla 7.1. Los grados que tienen una W (del inglés *Winter*, invierno) tienen un buen comportamiento a bajas temperaturas. Cuanto menor es el número mayor es la fluidez del aceite a baja temperatura o en el momento del arranque. Los que no tienen una W son aceites indicados para temperaturas ambiente elevadas. Antes de la aparición de los aceites multigrado, en invierno los motores funcionaban con aceites «de invierno»,

© Ediciones Paraninfo

TABLA 7.1

Grados SAE	Viscosidad máxima [*cP*] de arranque en frío a la temperatura indicada [°C]	Viscosidad máxima [*cP*] de bombeo sin esfuerzo de fluencia a la temperatura indicada [°C]	Viscosidad mínima y máxima [*cSt*] a 100 °C
0 W	6200 a – 35	60 000 a – 40	3,8- -
5 W	6600 a – 30	60 000 a – 35	3,8- -
10 W	7000 a – 25	60 000 a – 30	4,1- -
15 W	7000 a – 20	60 000 a – 25	5,6- -
20 W	9500 a – 15	60 000 a – 20	5,6- -
25 W	13 000 a – 10	60 000 a – 15	9,3- -
20			5,6-9,3
30			9,3-12,5
40			12,5-16,3
50			16,3-21,9
60			21,9-26,1

Nota: la viscosidad absoluta o dinámica se mide en centipoise [cP] y la viscosidad relativa o cinemática, cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad del fluido, se mide en centistoke [cSt]

con gradación SAE de 0 W a 25 W, dependiendo del clima, y en verano utilizaban aceites «de verano», con gradación SAE de 20 a 60.

– **Multigrado:** un aceite multigrado tiene como base un aceite de gradación SAE W y posteriormente se le añaden mejoradores de la viscosidad. Así se consigue un buen comportamiento en frío y, al aumentar la temperatura, trabaja como un aceite de verano. La Figura 7.9 muestra un ejemplo de un aceite multigrado SAE 10 W 40, que, comparado con dos aceites monogrado SAE 10 W y SAE 40, presenta una viscosidad más estable frente a la temperatura. De esta forma, este aceite se puede utilizar todo el año manteniendo una viscosidad más o menos estable independientemente de la temperatura ambiente. Además, los aceites multigrado son más estables térmicamente y no se descomponen por el choque térmico producido por la diferencia de temperaturas existente entre diferentes zonas del circuito de lubricación (90 °C en el cárter y más de 250 °C en zonas calientes). En cualquier caso, también deberán elegirse adecuadamente los aceites multigrado dependiendo del clima de la región donde el motor va a estar en funcionamiento, como muestra la Figura 7.10.

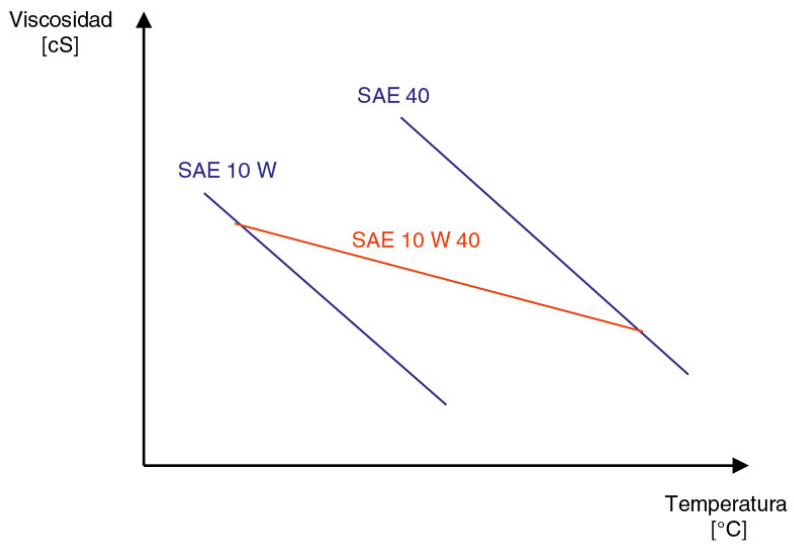


Figura 7.9. *Comparación de la viscosidad de un aceite multigrado con dos monogrado frente a la temperatura.*

© Ediciones Paraninfo

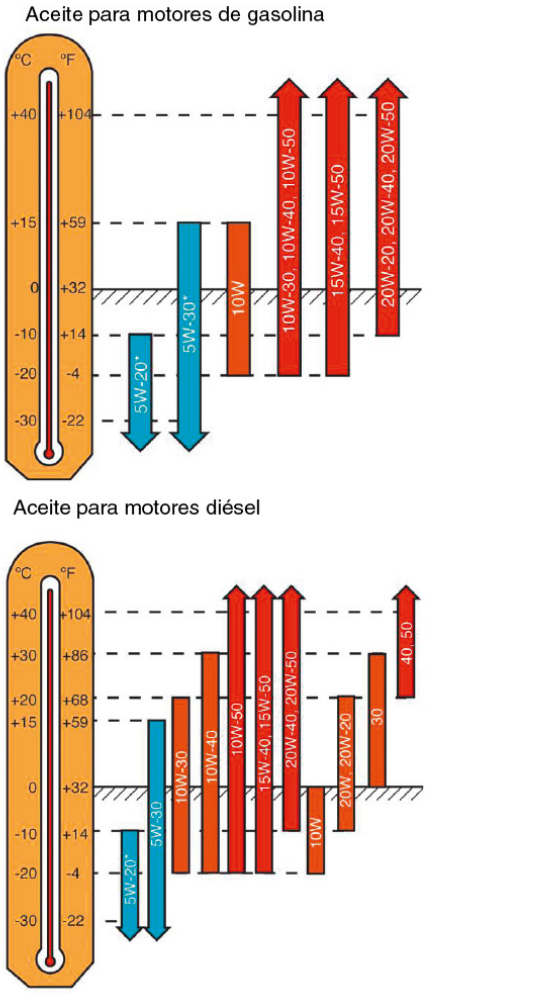


Figura 7.10. *Elección de un aceite multigrado en función de la temperatura ambiente, para motores de gasolina y diésel.*

- **Clasificación por las condiciones de servicio:** existen diferentes normas y especificaciones internacionales que determinan el nivel de calidad de un lubricante. Las más importantes son las siguientes:
  - **Clasificación API:** el API (*American Petroleum Institute*) es una organización técnica y comercial que representa a los fabricantes de productos de petróleo en los Estados Unidos. Está asociado con la SAE y la ASTM (*American Society for Testing of Materials*), para el desarrollo de ensayos que analizan el uso real y diario de motores y vehículos. De esta forma se pueden clasificar los aceites según su capacidad para funcionar bajo ciertas condiciones. La clasificación API se basa en las condiciones de servicio del motor. Cada clase de servicio es designada por dos letras.
    - » Como primera letra se emplea:
      - *S* (del inglés *Service*): para identificar a los aceites recomendados para motores de gasolina, vehículos de turismo y camiones ligeros.
      - *C* (del inglés *Comercial*): para vehículos comerciales, agrícolas, de obras públicas y todo terreno que funcionan con el ciclo diésel.
    - » La segunda letra indica la exigencia en servicio, comenzando por la A para el menos exigente, y continuando en orden alfabético a medida que aumenta la exigencia. La clasificación API define nuevos niveles de exigencia a medida que se requieren mejores lubricantes para los nuevos diseños de motores. En general, cuando se define un nuevo nivel el API designa como obsoletos algunos de los anteriores. Los niveles definidos por la clasificación API se muestran en las Tablas 7.2 y 7.3.

TABLA 7.2

Clasificación API para motores de gasolina	
Nivel API	**Características**
SA	Aceite sin aditivos, utilizados antes de la década de los treinta. Obsoleta.
SB (1930)	Mínima protección antioxidante, anticorrosiva y antidesgaste. Obsoleta.
SC (1964)	Incorpora el control de depósitos a baja y alta temperatura. Obsoleta.
SD (1968)	Mayor protección que el nivel anterior respecto de la formación de depósitos, desgaste y corrosión. Obsoleta.
SE (1972)	Mayor protección contra la oxidación del aceite, depósitos de alta temperatura, herrumbre y corrosión. Obsoleta.
SF (1980)	Mayor estabilidad a la oxidación y características antidesgaste. Obsoleta.
SG (1989)	Mejor control de la formación de depósitos, oxidación del aceite y desgaste. Obsoleta.
SH (1993)	Mejor protección respecto del nivel SG, en materia de control de depósitos, oxidación del aceite, desgaste y corrosión.

Continúa

© Ediciones Paraninfo

SJ (1996)	Mejor control de la formación de depósitos, fluidez a bajas temperaturas y protección del motor a alto régimen de giro. Menor consumo de combustible.
SL (2001)	Mejora la resistencia antioxidante a altas temperaturas y al desgaste.
SM (2004)	Desarrollada para motores modernos de gasolina. Mejora el consumo de combustible y el bombeo. Disminuye el espesamiento debido a la oxidación, la nitración y los depósitos a alta temperatura. Protege a los sistemas de control de emisiones.
SN (2010)	Mejora el consumo de combustible y la protección de los sistemas de control de emisiones y sobrealimentadores. Es compatible con motores que funcionan con mezclas de bioetanol superiores a la E85.

TABLA 7.3

Clasificación API para motores diésel	
Nivel API	**Características**
CA (1940)	Motores atmosféricos. Protección mínima contra la corrosión, desgaste y depósitos. Obsoleta.
CB (1949)	Motores atmosféricos. Mejor control sobre los depósitos y el desgaste. Obsoleta.
CC (1961)	Motores atmosféricos o sobrealimentados. Mayor control sobre la formación de depósitos a alta temperatura y corrosión en cojinetes. Obsoleta.
CD (1955)	Motores atmosféricos o sobrealimentados que requieren un mayor y efectivo control de los depósitos y el desgaste. Obsoleta.
CD-II (1955)	Motores diésel de dos tiempos que requieren un efectivo control del desgaste y los depósitos, cumpliendo todos los requerimientos del nivel CD. Obsoleta.
CE (1983)	Motores sobrealimentados para servicio severo. Control sobre consumo y espesamiento del aceite, depósitos y desgaste. Dirigida a multigrados. Obsoleta.
CF-4 (1990)	Motores sobrealimentados para servicio severo, especialmente en carretera. Reemplaza al nivel CE con mejor control del consumo de aceite y formación de depósitos en los pistones.
CF (1994)	Motores atmosféricos o sobrealimentados, que pueden usar gasoil con diferentes contenidos de azufre. Efectivo control de la formación de depósitos en los pistones, desgaste y corrosión en cojinetes. Reemplaza al nivel CD. No reemplaza al nivel CE.
CF-2 (1994)	Motores diésel de dos tiempos que requieren un efectivo control del desgaste de segmentos y cilindros, así como de la formación de depósitos. Reemplaza al nivel CD-II. No necesariamente cumple los requerimientos de los niveles CF o CF-4.
CG-4 (1994)	Motores diésel para servicio severo, tanto en carreteras (gasoil con bajo contenido de azufre: 0,05 %) como fuera de ellas (gasoil con contenido de azufre máximo de 0,5 %). Efectivo control de los depósitos de alta temperatura, desgaste, corrosión, espuma, oxidación del aceite y acumulación de hollín. Diseñado para cumplir con las normas sobre emisiones de 1994. También se puede emplear cuando se requieran aceites de nivel CD, CE y algunos casos de CF-4.
CH-4 (1998)	Motores diésel para servicio severo, que emplean gasoil con alto o bajo contenido de azufre, y que deben cumplir con estrictas normas de control de emisiones. Mejora el control de depósitos, del desgaste y la resistencia a la oxidación. Sobresaliente control del hollín que producen los sistemas de inyección de alta presión y control electrónico.
CI-4 (2002)	Mejor protección contra la oxidación y la herrumbre, reducción del desgaste y aumento de la estabilidad de la viscosidad. Diseñado para motores diésel rápidos, que cumplen con la normativa anticontaminación implantada a partir de 2002 y que utilizan combustibles que contengan hasta un 0,5 % de azufre en peso. También optimizado para motores con sistema de tratamiento de los NO_x mediante válvula EGR.

Continúa

© Ediciones Paraninfo

CI-4 PLUS (2004)	Surgió como resultado de cierta insatisfacción por parte de fabricantes como Caterpillar, Mack y Cummins en lo referente a requisitos de control del espesamiento provocado por el hollín y de la caída de la viscosidad debido al alto esfuerzo mecánico sobre los aditivos mejoradores de viscosidad.
CJ-4 (2006)	Para motores diésel de altas prestaciones que han de cumplir la normativa anticontaminación a partir de 2007. Supera las especificaciones anteriores y está especialmente diseñado para proteger los sistemas anticontaminación (EGR, DPF, SCR…), reducir el desgaste del motor y disminuir la formación de depósitos. Permite aumentar los intervalos de cambio de aceite y es compatible con combustibles de bajo contenido en azufre.

– **Clasificación ACEA:** en 1990 el CCMC (Comité de Constructores de Automóviles del Mercado Común) fue disuelto y surgió la ACEA (Asociación de Constructores Europeos de Automóviles), cuyos miembros son todos los fabricantes de vehículos de Europa. En colaboración con otras instituciones desarrolló un sistema de aseguramiento de la calidad de los lubricantes. Las secuencias para lubricantes definidas por la ACEA en 1996 se basan en ensayos de laboratorio, algunos iguales a los practicados por el API. Los ensayos de la ACEA reflejan los requerimientos del lubricante para mejorar la protección contra el desgaste, la limpieza del motor, la resistencia a la oxidación, la resistencia al aumento de la viscosidad (debido al espesamiento por hollín)… Las normas de la ACEA también incluyen requerimientos muy estrictos acerca de la resistencia del aceite ante altos esfuerzos mecánicos, viscosidad a alta temperatura, compatibilidad con elastómeros, tendencia a la formación de espuma... La clasificación de la ACEA distingue entre motores de gasolina (*A*), motores diésel de vehículos ligeros (*B*) y motores diésel de vehículos pesados (*E*), según las Tablas 7.4, 7.5 y 7.6.

TABLA 7.4

Clasificación ACEA para motores de gasolina	
Nivel ACEA	**Características**
A 1 – 96/98	Baja viscosidad para economía de combustible.
A 2 – 96/98	Viscosidad normal.
A 3 – 96/98	Mayor estabilidad térmica y al corte mecánico.
A 4 – 98	Reservado para motores de gasolina de inyección directa.
A 5 – 02	Viscosidad estable para el uso en motores de altas prestaciones. Pueden no ser aptos para algunos motores.

TABLA 7.5

Clasificación ACEA para motores diésel de vehículos ligeros	
Nivel ACEA	**Características**
B 1 – 96/98	Baja viscosidad para economía de combustible.
B 2 – 96/98	Viscosidad normal.
A 3 – 96/98	Mayor estabilidad térmica y al corte mecánico.
B 4 – 98	Reservado para motores diésel de inyección directa.
B 5 – 02	Viscosidad estable para el uso en motores de altas prestaciones. Pueden no ser aptos para algunos motores.

TABLA 7.6

Clasificación ACEA para motores diésel de vehículos pesados	
Nivel ACEA	**Características**
E 1 – 96/98	Aceites para motores *Heavy Duty* (de uso intensivo).
E 2 – 96/98	Aceites para motores *Heavy Duty*, mejorando el desgaste y disminuyendo la formación de depósitos y barnices. Menor consumo de aceite. Mayor intervalo entre cambios de aceite.
E 3 – 96/98	Mejora el nivel anterior.
E 4 – 98	Especiales para motores que incorporan control de emisiones.
E 5 – 02	Supera el nivel E 4.

Tras sufrir actualizaciones en 2004 y en 2007, en 2008 la norma ACEA clasifica los lubricantes de motor según las Tablas 7.7, 7.8 y 7.9.

© Ediciones Paraninfo

En 2004 surge una nueva edición de las normas de la ACEA, desapareciendo los aceites específicos de motores de gasolina y diésel de vehículos ligeros, agrupando los requerimientos de ambos en las normas ACEA A1/ B1 a A5 / B5, desapareciéndole el nivel 2. Los aceites para motores diésel de vehículos pesados se distribuyen de E2 a E7, desapareciendo la E3. Por otro lado surge una nueva categoría de aceites, los ACEA C1, C2 y C3, que son indicados para proteger a los sistemas de tratamiento de los gases de escape. La nueva norma ACEA 2004 se resume en las Tablas 7.7, 7.8 y 7.9.

- **Especificaciones militares:** los aceites se pueden clasificar según especificaciones militares de los Estados Unidos, designándose por las siglas MIL. Esta clasificación sigue el patrón de la norma API.
- **Clasificación ILSAC:** consiste en una nueva norma propuesta por las Asociaciones de Fabricantes de Motores de Estados Unidos (AAMA) y Japón (JAMA). Cumplen las normas API y se centran en la reducción del consumo de combustible.
- **Especificaciones propias de cada fabricante:** muchos fabricantes de automóviles, además de cumplir las normas internacionales, establecen otras que deben cumplir los aceites utilizados en sus motores. Además

TABLA 7.7

Clasificación ACEA 2008	
Motores de gasolina y diésel de vehículos ligeros	
Nivel ACEA	**Características**
A1 / B1 – 08	Aceites para motores gasolina y diésel de baja viscosidad y baja fricción, con viscosidad estable a alta temperatura y elevado esfuerzo de corte. Pueden ser inapropiados para su uso en algunos motores.
A3 / B3 – 08	Aceites para motores gasolina y diésel muy estables, para mantener el grado SAE durante largos intervalos de cambio de aceite y para ser usados en cualquier época del año. Mantienen sus propiedades bajo condiciones severas de operación.
A3 / B4 – 08	Cumplen la especificación anterior y se amplía a motores gasolina y diésel de inyección directa.
A5 / B5 – 08	Para motores gasolina y diésel de altas prestaciones. Pueden ser inapropiados para su uso en algunos motores.

TABLA 7.8

Motores diésel de vehículos pesados	
Nivel ACEA	**Características**
E4 – 08	Aceite muy estable, para mantener el grado SAE durante largos intervalos de cambio de aceite, que provee excelente control de la limpieza de los pistones, desgaste, formación de hollín y estabilidad del lubricante. Está recomendado para motores diésel de alta potencia que cumplen los requerimientos de emisiones de Euro I, Euro II, Euro III, Euro IV y Euro V que trabajan bajo condiciones muy severas. Es apropiado para motores sin filtros de partículas y para algunos equipados con EGR y algunos equipados con sistemas SCR para reducción del NO_x. Las recomendaciones pueden diferir entre fabricantes.
E6 – 08	Añade a la norma anterior que es apropiado para motores con EGR, con o sin filtros de partículas y para motores equipados con sistemas SCR para reducción del NO_x. Es altamente recomendada para motores equipados con filtros de partículas y está diseñada para ser usado en combinación con combustible diésel de bajo azufre. Las recomendaciones pueden diferir entre fabricantes.
E7 – 08	Es apropiada para motores sin filtros de partículas y para la mayoría de los motores con EGR equipados con sistemas SCR para reducción del NO_x. Las recomendaciones pueden diferir entre fabricantes.
E9 – 08	Es apropiada para motores con o sin filtros de partículas y para la mayoría de los motores con EGR y equipados con sistemas SCR para reducción del NO_x. Es altamente recomendada para motores equipados con filtros de partículas y está diseñada para ser usado en combinación con combustible diésel de bajo azufre.

© Ediciones Paraninfo

TABLA 7.9

Aceites compatibles con catalizadores	
Nivel ACEA	**Características**
C1 – 08	Aceite muy estable, para mantener el grado SAE durante largos intervalos de cambio de aceite, su uso es compatible con los catalizadores en motores gasolina y diésel y con los filtros antipartículas diésel (DPF), alargando su vida útil. Estos aceites tienen los niveles más bajos de SAPS (cenizas sulfatadas, fósforo y azufre) pudiendo ser inapropiados para ser usados en algunos motores.
C2 – 08	Igual que la norma anterior pero protegiendo aún más a los catalizadores y filtros antipartículas.
C3 – 08	Igual que la norma anterior pero protegiendo aún más a los catalizadores y filtros antipartículas, con una viscosidad mínima diferente.
C4 – 08	Similar a la norma anterior pero con un nivel de SAPS menor.

del tipo de servicio indican la viscosidad, porcentaje máximo de volatilidad, intervalos máximos entre cambios de aceite… Algunos ejemplos son: General Motors, Ford, Volkswagen, Mercedes Benz, BMW, Porsche, Volvo, Scania, Iveco, Cumminis, Fiat, John Deere, Caterpillar, Peugeot, Rover, Rolls Roice, Man, Mack...

7.2.4. Lubricantes para motores de dos tiempos

Los requisitos fundamentales que deben cumplir los aceites empleados en motores de dos tiempos que requieren engrase por mezcla son: solubilidad con la gasolina, mínima formación de depósitos y lubricación eficiente en todos los puntos de engrase. La clasificación API para este tipo de aceites se muestra en la Tabla 7.10.

7.2.5. Grasas

Las grasas son lubricantes de consistencia semisólida que se obtienen por dispersión de un agente espesante en un líquido lubricante, pudiendo contener aditivos. Se emplean en circunstancias en las que no es posible emplear aceites: altas cargas, bajas velocidades de giro, poco mantenimiento, temperaturas extremas… Se componen de:

- **Aceite de base:** es la parte líquida de la grasa y representa en torno al 90 % de su peso. Influye notablemente en las características de la grasa, por lo que su selección debe hacerse en función de la aplicación prevista. Suelen ser aceites minerales cuando se quieren obtener buenas características a un bajo precio, aceites sintéticos cuando se buscan condiciones específicas o aceites vegetales cuando se necesitan características biodegradables o están en contacto con alimentos.
- **Espesante:** es el elemento de mayor influencia en las características de la grasa y por este motivo se clasifican según el tipo de espesante utilizado. El espesante forma una estructura fibrosa que contiene aceite, similar a una esponja con agua. Hay dos clases principales de espesantes:
  - **Jabones metálicos:** creados a partir de una operación de saponificación, pueden ser divididos en:

TABLA 7.10

Clasificación API para aceites de motores de dos tiempos de gasolina		
Nivel	**Aplicación**	**Características del motor**
TA	Ciclomotores, pequeños generadores, motores pequeños refrigerados por aire.	Motores propensos al autoencendido por acumulación de carbonilla.
TB	Ciclomotores, motocicletas, maquinaria de jardinería, motosierras con una proporción de mezcla superior al 3 %.	Motores propensos al desgaste por fricción, perlado de las bujías, pérdida de potencia por formación de carbonilla y al engomado de los segmentos.
TC	Motocicletas, motonieves, motores refrigerados por agua sin catalizador de tres vías, motosierras con una proporción de mezcla inferior al 3 %.	Motores propensos a la formación de carbonilla, perlado de las bujías y engomado de los segmentos. Para condiciones muy severas y competición.
TD	Motores fueraborda refrigerados por agua.	Motores propensos a la formación de carbonilla, al autoencendido y al engomado de los segmentos. El aceite debe ser biodegradable.

© Ediciones Paraninfo

» *Jabones convencionales:* de litio, calcio, aluminio, sodio…

» *Jabones compuestos o complejos:* surgen por la saponificación de dos ácidos grasos con un hidróxido metálico, dando lugar a grasas complejas de litio, calcio, aluminio, sodio…

– **Espesantes sin jabón:** se obtienen dispersándose en un lubricante. Pueden ser:

» *Inorgánicos:* como la arcilla.

» *Polímeros:* como la poliurea.

» *Ceras.*

- **Aditivos:** se emplean para mejorar su resistencia a la oxidación, a la corrosión, al desgaste, a las pérdidas por evaporación… Existen también aditivos sólidos que forman una capa sobre las superficies metálicas para reducir la fricción e impedir el contacto entre las superficies.
- **Propiedades:** las más importantes son:
  - **Punto de gota:** es la temperatura a la que la grasa empieza a pasar de estado semisólido a líquido, bajo ciertas condiciones.
  - **Consistencia:** es la dureza de la grasa, considerándose de baja consistencia cuando es blanda y de alta consistencia cuando es dura.
  - **Penetración:** la NLGI (*National Lubricating Grease Institute*) ha establecido una clasificación para las grasas basadas en la medida de la consistencia a través del método ASTM D217. Esta prueba consiste en medir la profundidad (en décimas de mm), a la cual un cono de metal penetra en una muestra de grasa después de una caída libre a determinada temperatura. La penetración trabajada da una indicación más exacta de la consistencia de la grasa durante el servicio. En el laboratorio este ensayo se efectúa en un equipo especial, en donde se somete la grasa a una agitación interna por un cierto tiempo, antes de la prueba de penetración con el cono de metal. La clasificación NLGI según la consistencia es la que aparece en la Tabla 7.11.

7.3. El sistema de lubricación

7.3.1. Tipos de sistemas de lubricación

Los sistemas de lubricación se dividen en dos grupos:

- **Lubricación por mezcla:** utilizado principalmente en motores de dos tiempos que realizan la admisión al cárter antes de transferir la mezcla al cilindro. El aceite es mezclado con el combustible en una proporción comprendida entre el 2 y el 5 %. Esta mezcla se puede preparar manualmente o bien se tiene un depósito de aceite independiente del de combustible que mezcla el lubricante en la proporción correcta. El aceite impregna los elementos que requieren lubricación, como el cilindro, los apoyos y muñequilla del cigüeñal y el bulón. Como no es posible el engrase a presión, no se pueden instalar cojinetes de fricción, por lo que el cigüeñal se apoya sobre dos rodamientos de bolas y la cabeza y pie de biela giran sobre rodamientos de agujas. Hay una parte importante del aceite que pasa a la cámara de combustión para lubricar la parte alta del cilindro y es quemado durante la combustión de la mezcla. El aceite empleado en este sistema requiere que no deje residuos que puedan engrasar las bujías, engomar los segmentos u obturar las lumbreras y el escape.

TABLA 7.11

Clasificación NLGI (nº)	Grado de consistencia
000	Muy fluida
00	Fluida
0	Semifluida
1	Muy blanda
2	Blanda
3	Mediana
4	Dura
5	Muy dura
6	Extradura

© Ediciones Paraninfo

- **Lubricación a presión:** en este sistema una bomba aspira el aceite del cárter y lo envía por diversos conductos del motor a presión. La Figura 7.11 muestra el esquema de un circuito de lubricación a presión, donde el aceite es almacenado en el cárter (1), pudiendo llevar una sonda (2) de nivel, temperatura y/o calidad del lubricante. La bomba (3) aspira aceite del cárter e incorpora una válvula de descarga (4) que limita la presión del sistema de lubricación. El aceite pasa por un enfriador (5), que normalmente tiene una válvula termostática para refrigerar o no el lubricante en función de la temperatura del mismo. A continuación se introduce en el filtro (7) que retiene las impurezas y dispone de una válvula de by-pass (6) para el caso de llegar a colmatarse. Después del filtro circula por las canalizaciones del motor, donde se instala una válvula de retención (8) para evitar que se descebe el circuito en la parte alta del motor tras pararlo y el manocontacto (9) que informa de la presión del circuito. El aceite es enviado a presión a los apoyos del cigüeñal (10), donde es distribuido por sus canalizaciones interiores a las muñequillas, a los inyectores de aceite (11), si los llevara para enfriar la cabeza de los pistones, a los apoyos del árbol de levas (12) y al turbocompresor (13) si dispone de él. Tras lubricar los diferentes componentes, el aceite vuelve al cárter a través de los diferentes retornos (14).

A la vista del circuito anterior, se pueden distinguir a su vez dos tipos de lubricación:

– **Lubricación a presión:** dependiendo de la configuración del motor, el número de elementos lubricados a presión o que para su funcionamiento sea necesaria la presión de aceite puede ser variable, pero los más comunes son los siguientes:

  » Apoyos y muñequillas del cigüeñal.

  » Pie de biela.

  » Inyectores de aceite para refrigerar la cabeza del pistón.

  » Apoyos del árbol de levas.

  » Eje de balancines.

  » Taqués hidráulicos y compensadores de juego.

  » Control de sistemas de distribución variable.

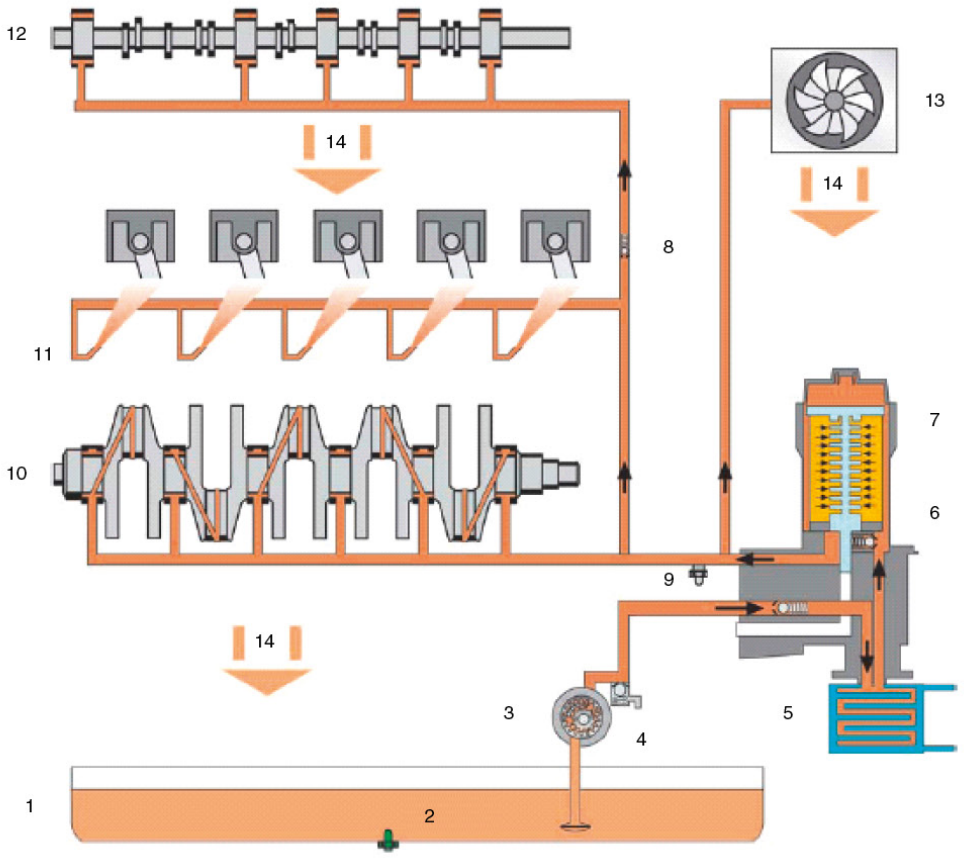


Figura 7.11. *Esquema de un circuito de lubricación a presión.*

© Ediciones Paraninfo

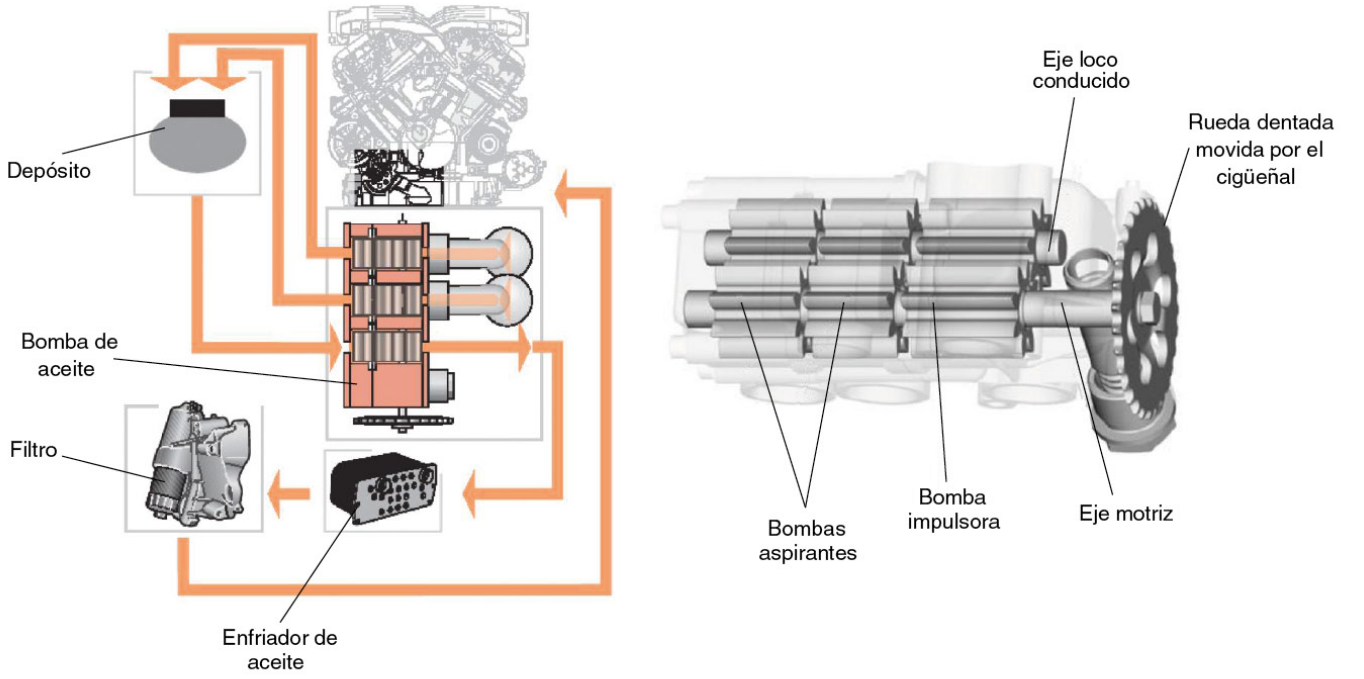


Figura 7.12. *Sistema de lubricación a presión por cárter seco.*

» Tensor de la cadena de distribución.

» Apoyos de los ejes de equilibrado.

» Turbocompresor.

– **Lubricación por impregnación o niebla:** aprovechando los retornos del aceite al cárter, se pueden lubricar diferentes elementos que simplemente son impregnados de lubricante, como el mecanismo de distribución cuando es mandado por cadena o engranajes, algunos tipos de taqués… Otras veces, el barboteo del lubricante excedente de los cojinetes de cabeza de biela, es centrifugado y genera una niebla de aceite que impregna elementos como los cilindros, el pie de biela…

7.3.2. Elementos del sistema de lubricación a presión

Los elementos fundamentales del sistema de lubricación a presión son los siguientes:

- **Cárter:** sirve de depósito de aceite y ayuda a refrigerarlo, por lo que sus paredes suelen ser de chapa delgada para favorecer la transferencia de calor, pudiendo ser también de aluminio con aletas que mejoran el enfriamiento del aceite. Además, en su interior pueden instalarse tabiques para evitar que la bomba se descebe en las curvas o en pendientes pronunciadas. En la mayoría de sistemas de lubricación, como el de la Figura 7.11, el cárter contiene la totalidad del aceite del motor, pero existe otra modalidad, llamada de cárter seco, donde este no contiene la totalidad del aceite del motor. En la Figura 7.12 puede verse un ejemplo de este sistema, donde se tiene una bomba de tres escalones movida por el cigüeñal, que consiste en dos bombas aspirantes y una impulsora. Las bombas aspirantes succionan aceite del cárter, de poca capacidad ya que es básicamente aceite de retorno, y lo llevan al depósito. La bomba impulsora recibe el aceite procedente del depósito y lo envía a presión a las canalizaciones del motor, haciéndolo pasar previamente por el enfriador y el filtro. El sistema de cárter seco es empleado en vehículos que pueden cambiar considerablemente su inclinación, como motocicletas o vehículos todo terreno. También es habitual encontrarlo en motores de competición, ya que el sistema de cárter «húmedo» convencional haría que el aceite se desplazara en exceso en las curvas. Con lo cual, las ventajas del cárter seco se pueden resumir en:

  – Alimentación de aceite fiable en condiciones de conducción extrema, con altas aceleraciones longitudinales y transversales o inclinaciones del vehículo.

  – Menor contenido de aire en el aceite impulsado.

  – Reducción de la temperatura del aceite, ya que al estar contenido en un depósito separado del motor, este no le transmite calor.

© Ediciones Paraninfo

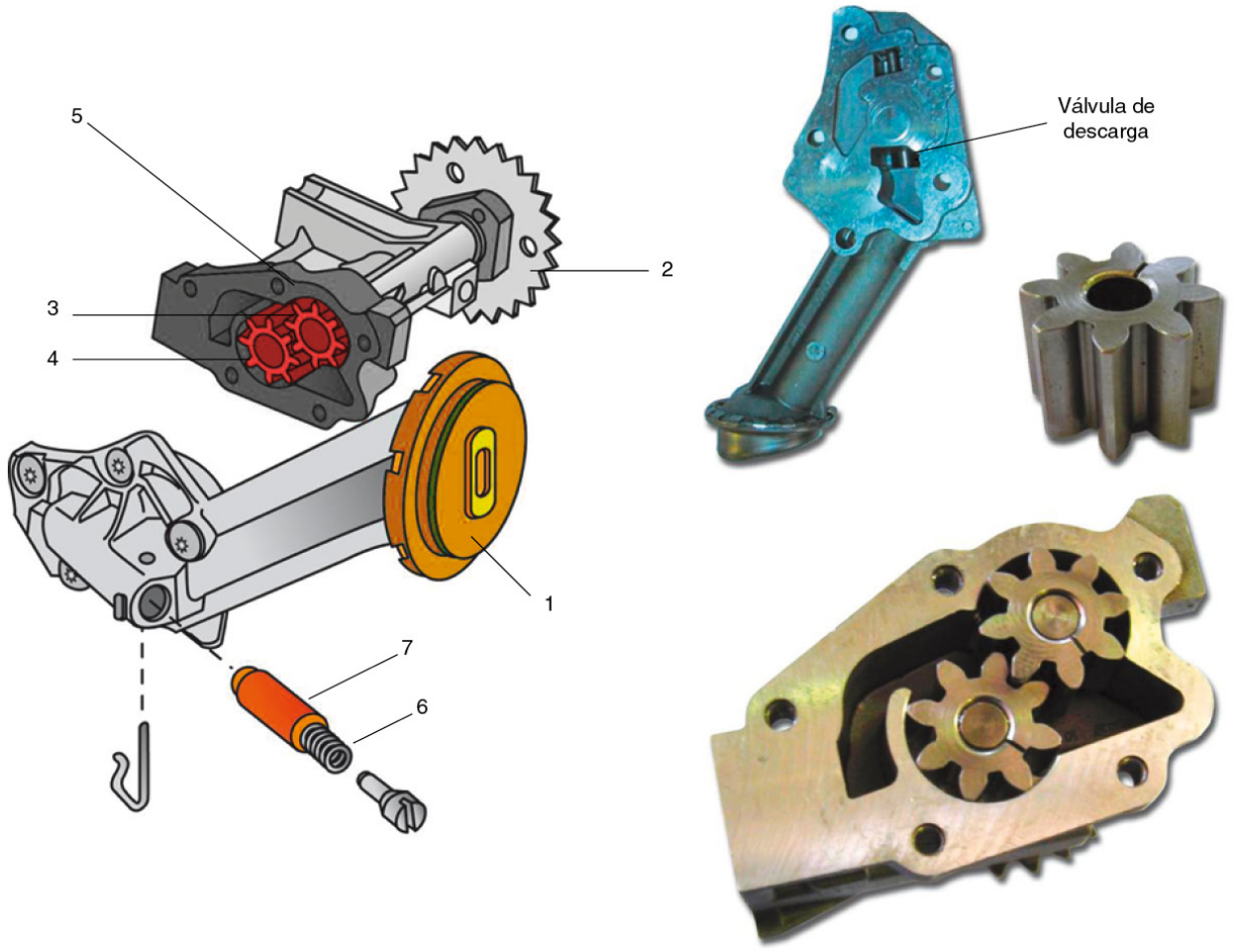


Figura 7.13. *Bomba de aceite de engranajes.*

– Menor influencia del llenado del aceite por encima o por debajo de lo normal.

– Reducción del volumen del cárter, que disminuye la altura del motor y, por lo tanto, el centro de gravedad, con la mejora del comportamiento dinámico del vehículo y reducción del tamaño del motor.

- **Bomba de aceite:** puede ser de diferentes tipos:

  – **Bomba de engranajes:** la Figura 7.13 muestra las partes de este tipo de bombas. El aceite es succionado del cárter por la bomba a través de la trompa de aspiración (1) que tiene un tamiz para filtrar las partículas más gruesas. El cigüeñal, mediante engranajes o cadena, mueve la rueda conductora (2), que a su vez mueve la rueda dentada (3), y esta engrana con la rueda dentada (4), que gira loca alrededor de su eje. El movimiento del engranaje formado por las dos ruedas dentadas anteriores dentro del cuerpo de la bomba (5), produce una zona de aspiración, donde el aceite es succionado del cárter, y una zona de impulsión, donde es enviado al circuito de engrase. Este tipo de bombas es capaz de generar una elevada presión en el circuito incluso a bajo régimen de giro del motor, pero tiene una reducida capacidad de succión, por lo que es necesario instalarla cerca del cárter o incluso sumergida en él. La presión del circuito se controla por la válvula de descarga, que cuando el circuito supera una cierta presión, abre un by-pass y hace retornar parte del aceite suministrado por la bomba a la zona de aspiración o al cárter. De esta forma, cuando se alcanza cierta presión de aceite, se vence la fuerza del muelle (6) al ser empujado por el émbolo (7), abriendo el circuito de by-pass y reduciendo la presión del sistema. El tarado de la válvula de descarga suele ser de 4 a 6 kg/cm^2.

  – **Bomba de lóbulos:** siguiendo la Figura 7.14, donde aparece una bomba de este tipo, un anillo con dentado interior en forma de lóbulos (1) gira loco y es arrastrado por el rotor (2), siendo este último movido por el cigüeñal. El rotor tiene un lóbulo menos que

© Ediciones Paraninfo

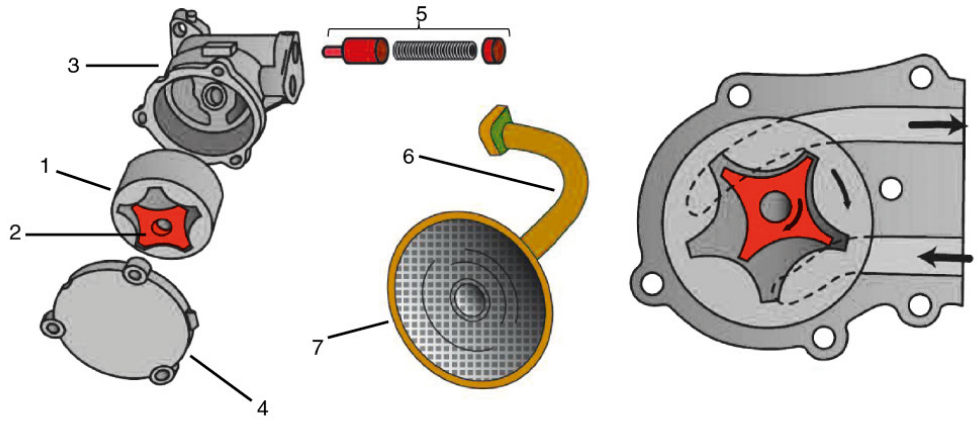


Figura 7.14. *Bomba de aceite de lóbulos.*

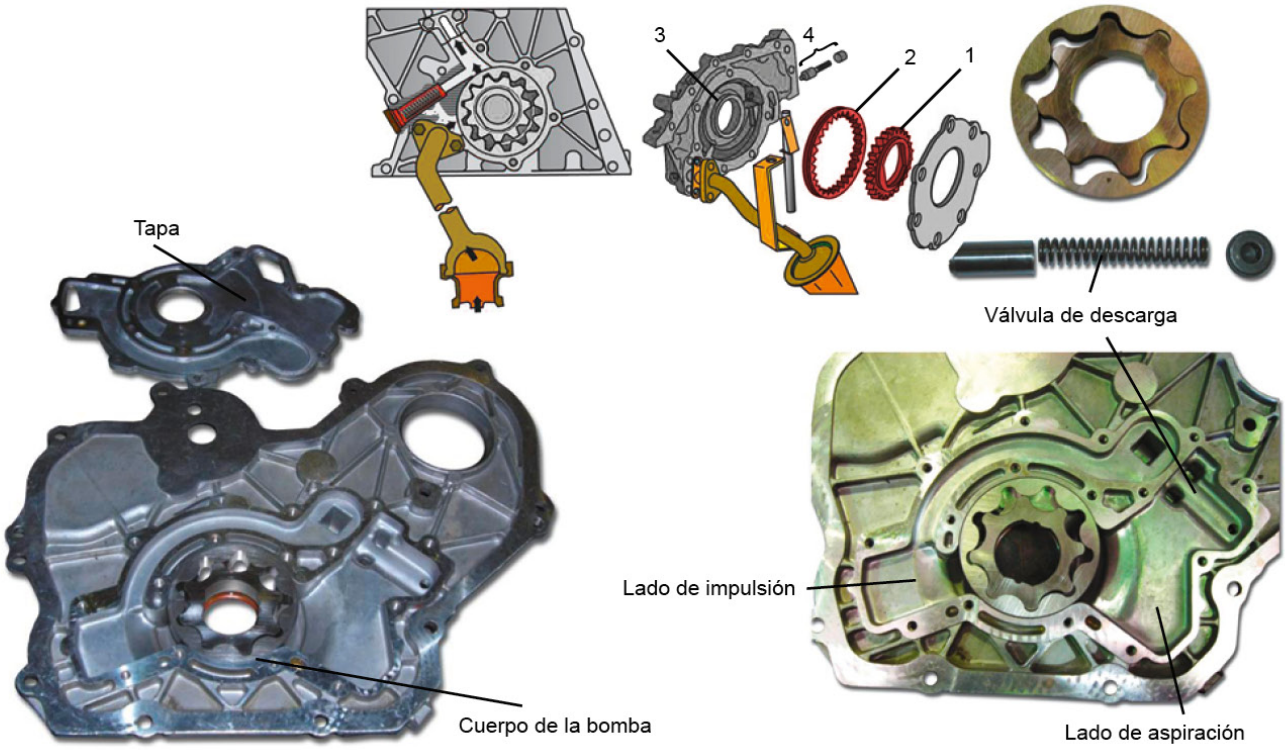


Figura 7.15. *Bomba de aceite de engranajes interiores o de hoz.*

el anillo y ambos elementos están contenidos dentro del cuerpo de la bomba (3), la cual se cierra con una tapa lateral (4). El resto de componentes son iguales que en la bomba de engranajes cumpliendo la misma función, como la válvula de descarga (5), la trompa de aspiración (6) y el tamiz (7). Cuando gira el rotor, se produce una zona de aspiración, donde se alimenta la bomba de aceite procedente del cárter y después es comprimido por el conjunto rotor-anillo, saliendo a presión al circuito de engrase.

– **Bomba de engranajes interiores o de hoz:** este tipo de bomba, como la que representa la Figura 7.15, se dispone de forma paralela al cárter de distribución. El cigüeñal mueve el rotor (1), que se sitúa de manera excéntrica al anillo loco (2), pudiendo tener el engranaje forma de dientes o lóbulos. Ambos elementos se alojan dentro del cuerpo de la bomba (3) y entre ellos se dispone un elemento espaciador en forma de media luna o de hoz, que separa el lado de aspiración del lado de impulsión para que el aceite pueda ser bombeado

© Ediciones Paraninfo

de un lado a otro. La presión del sistema se regula mediante la válvula de descarga (4). El resto de elementos es similar a las otras bombas.

- **Bombas reguladas de forma mecánica-hidráulica:** el objetivo de la bomba de aceite es transportar el lubricante a la presión necesaria para cualquier condición operativa del motor. Las bombas convencionales de regulación no variable se suelen diseñar para satisfacer la demanda requerida de alimentación de aceite, por lo que en algunas situaciones, la bomba suministra una cantidad de aceite mayor que la requerida, extrayendo del motor una potencia de accionamiento superior a la que necesita. Con el fin de mejorar el funcionamiento, actualmente es muy usual emplear bombas reguladas, que a su vez han ido evolucionando con el tiempo, desde las de regulación mecánica-hidráulica hasta las reguladas electrónicamente.

  A continuación se van a explicar los tipos más importantes de bombas reguladas de forma mecánica-hidráulica.

  – **Bomba de aceite de dos fases:** este tipo de bomba es necesaria para algunos sistemas de distribución variable con variador celular de aletas, dado que este dispositivo requiere un gran suministro de aceite. Las dos fases de la bomba trabajan a una presión de hasta 2 bar, presión que si se supera, la segunda fase se vacía. La explicación del funcionamiento de este tipo de bomba se hace a través de la Figura 7.16, en la que pueden apreciarse cuatro situaciones:

    » *Sistema despresurizado:* situación del sistema en caso de que el motor esté parado.

    » *Las dos bombas funcionan:* se genera una presión de 0 a 2 bar por las dos bombas.

    » *Solo funciona la bomba de la fase 1:* cuando la presión en el sistema es de 2 a 4 bar, la presión en la cámara del émbolo hace que este venza la fuerza del muelle de regulación, se desplace hacia la derecha y comunique el canal de aportación de caudal de la bomba de la fase 2 con el retorno al cárter, por

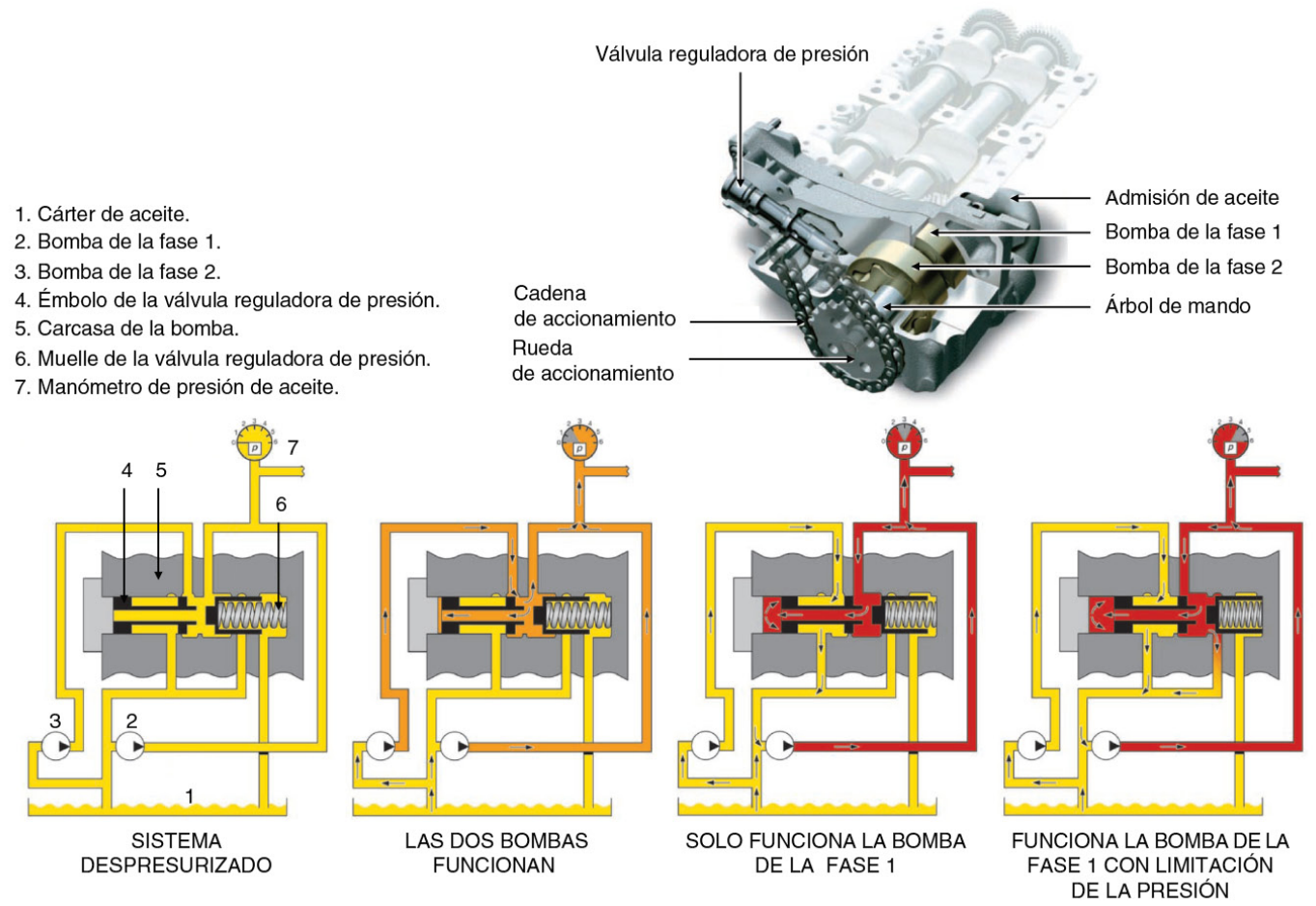


Figura 7.16. *Descripción del funcionamiento de la bomba de aceite de dos fases.*

© Ediciones Paraninfo

lo que la bomba de la fase 1 es la única que está generando presión.

» *Solo funciona la bomba de la fase 1 con limitación de la presión:* si la presión del sistema se encuentra entre 4 y 6 bar, se vence aún más la fuerza del muelle de regulación, el émbolo se desplaza aún más hacia la derecha y descubre el conducto de retorno al cárter para el circuito de la bomba de la fase 1. De esta forma, se limita la presión de aceite generada por la bomba de la fase 1.

– **Bomba de aceite de corredera oscilante:** está formada por un eje con un rotor, denominado rotor interior, que se une al rotor exterior por medio de unos péndulos que se apoyan sobre una corredera. El desplazamiento axial del émbolo de regulación hace oscilar la corredera, tomando como centro de giro un apoyo, dependiendo de la presión de aceite. La presión de aceite en la cámara de regulación hace que el émbolo de regulación venza la fuerza del muelle. El émbolo tiene mecanizada una rampa que modifica el punto de apoyo de la corredera. De esta forma, se produce un desplazamiento relativo entre el rotor interior y el rotor exterior. A medida que adquieren una posición concéntrica, disminuye la diferencia de volumen entre la zona de aspiración y la zona de impulsión, reduciendo el suministro de presión de aceite y con ello las pérdidas mecánicas del motor (hasta 2 kW menos que una bomba de aceite convencional no regulada).

La bomba incorpora a la salida de alta presión una válvula limitadora que protege a la misma bomba, al filtro y al intercambiador de calor de aceite en situaciones de presión excesiva, como al arrancar el motor o con el lubricante frío. El tarado de esta válvula suele ser de 5 ± 1 bar dependiendo del motor.

El funcionamiento de este tipo de bomba está representado en la Figura 7.17.

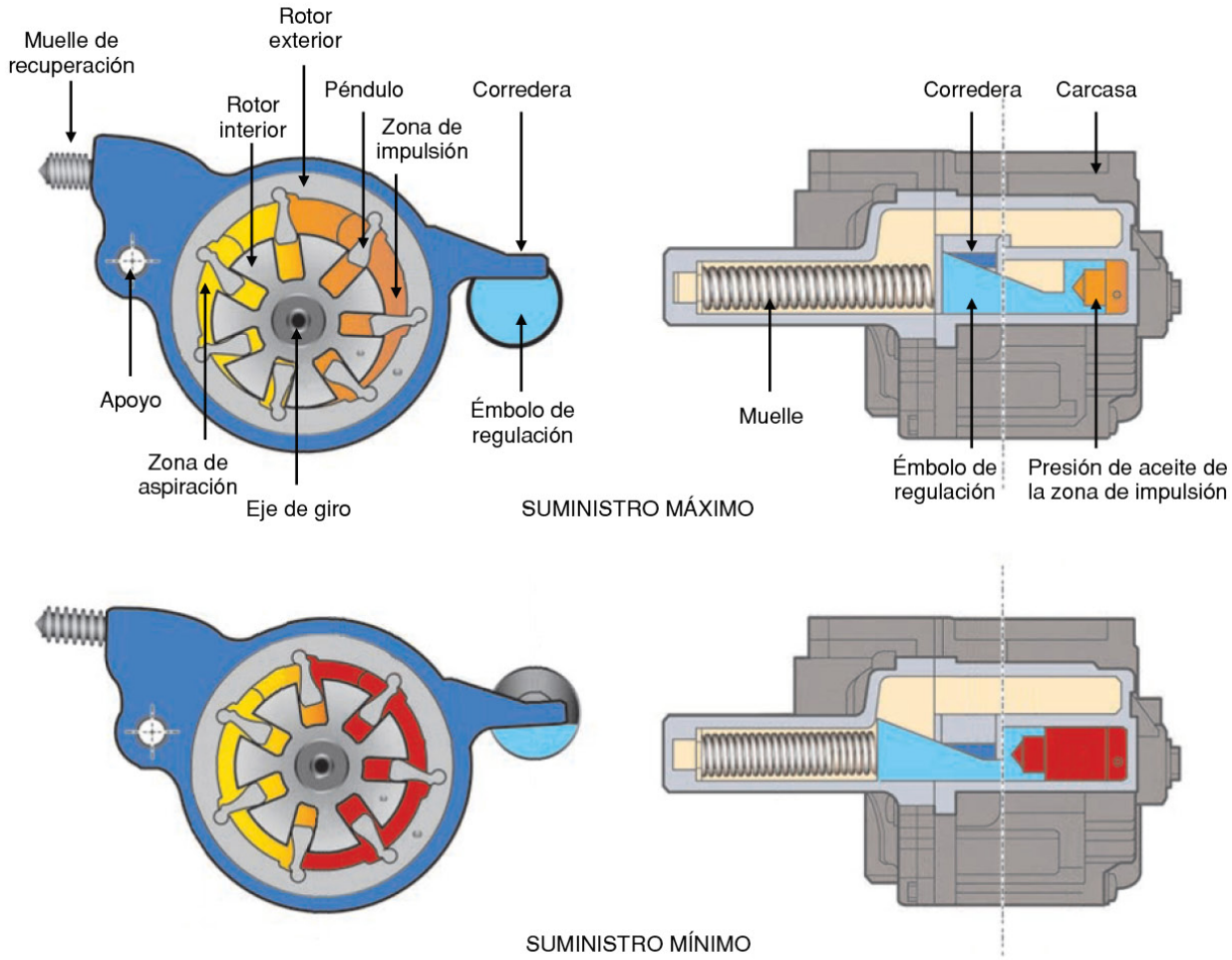
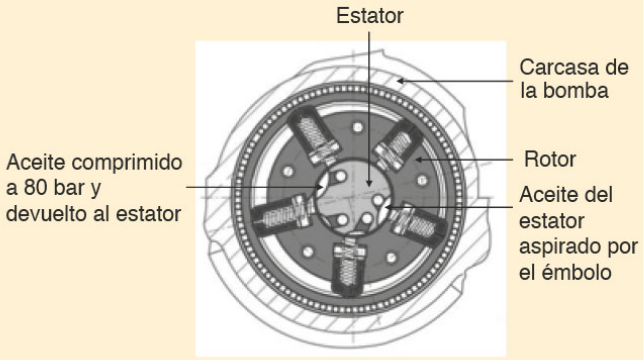


Figura 7.17. *Funcionamiento de la bomba de aceite de corredera pendular.*

© Ediciones Paraninfo

Existen determinadas bombas de aceite de alta presión para aplicaciones especiales. Algunos motores necesitan una presión de aceite muy elevada para algún dispositivo de los mismos. Un ejemplo serían los motores que implementan un sistema de distribución variable, como puede ser mediante variador de fase por pistón hidráulico. Una muestra de este tipo de bombas puede ser la de cinco émbolos radiales, donde un rotor gira alrededor de un estator fijo. En el rotor se apoyan cinco émbolos móviles. Como el estator y el rotor se montan de forma excéntrica al eje de la bomba, con el giro del rotor, los émbolos son desplazados radialmente generando el movimiento alternativo de cada uno de ellos. De esta forma, se puede suministrar una presión de aceite de hasta 80 bar, que es transportado a los variadores de fase y al acumulador de presión. Incorporan una válvula limitadora que a partir de un cierto valor de presión deriva el aceite al cárter.



Sabías que...

Las bombas de aceite reguladas aumentan la vida útil del lubricante retrasando su envejecimiento.

Muchos de los modernos sistemas de distribución variable con variador de fase necesitan un gran caudal de aceite a bajas revoluciones y a la temperatura de régimen del lubricante. Para conseguir esto, se necesitaría una bomba convencional no regulada de gran tamaño, que además supondría un aumento de las pérdidas mecánicas del motor por arrastre. Por otro lado, en determinados momentos, la demanda de aceite puede ser casi nula. Las bombas de aceite reguladas optimizan todas estas circunstancias.

- **Surtidores de aceite:** algunos sistemas de lubricación tienen surtidores de aceite que envían lubricante a presión al interior del pistón con el fin de refrigerar la cabeza del mismo por su parte inferior. Los surtidores suelen incorporar una válvula de descarga de forma que a bajas revoluciones, no inyectan aceite al interior del pistón y cuando se supera una cierta presión, por un aumento del régimen de giro, realizan la proyección del aceite, ya que en esas condiciones de funcionamiento hay que intensificar la refrigeración de la cabeza del pistón. La Figura 7.18 muestra el funcionamiento de este sistema.

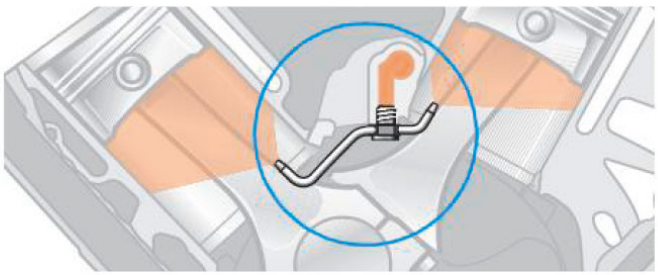


Figura 7.18. *Surtidores de aceite para refrigerar la cabeza del pistón.*

- **El filtro de aceite:** el aceite, a su paso por el circuito de lubricación, va arrastrando partículas como carbonilla, virutas metálicas y otras impurezas que, si no son filtradas, pueden dañar elementos del motor como cojinetes, cilindros… acelerando su desgaste. El filtro de aceite se encarga de retener esas impurezas a través de un elemento filtrante con un tamaño de poro determinado. Si las partículas son mayores que el tamaño del poro, quedan retenidas y dejan de circular por el circuito. El filtro de aceite puede tener dos montajes distintos:
  - **En serie:** es el método más utilizado. Todo el aceite del sistema de lubricación pasa previamente por el filtro, por lo que es necesario disponer de una válvula de by-pass dentro del filtro que permita que el aceite pase al circuito sin ser filtrado en el caso de colmatación del filtro. La Figura 7.19 muestra esta disposición.

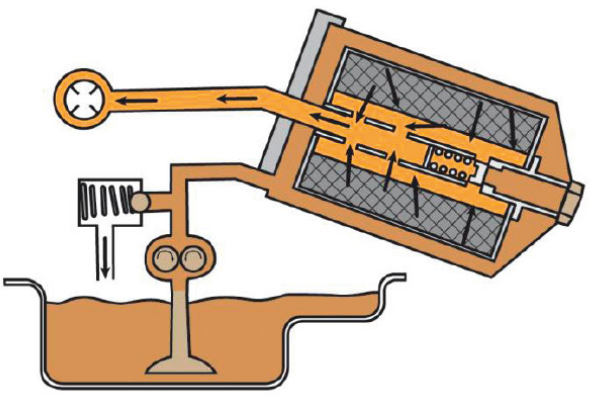


Figura 7.19. *Filtro de aceite en serie.*

© Ediciones Paraninfo

– **En derivación:** en este caso, parte del aceite del sistema de lubricación pasa por el filtro y parte se dirige directamente a los elementos lubricados a presión. De esta forma no es necesario instalar válvula de by-pass porque el motor no puede quedarse sin lubricación por colmatación del filtro. El elemento filtrante tiene un tamaño de poro más fino que el montaje en serie por lo que la calidad del filtrado en este caso es mayor, aunque una parte del aceite se envíe sin filtrar al sistema. El montaje en derivación, representado en la Figura 7.20, se suele emplear en motores que requieren elevados caudales de aceite para su lubricación.

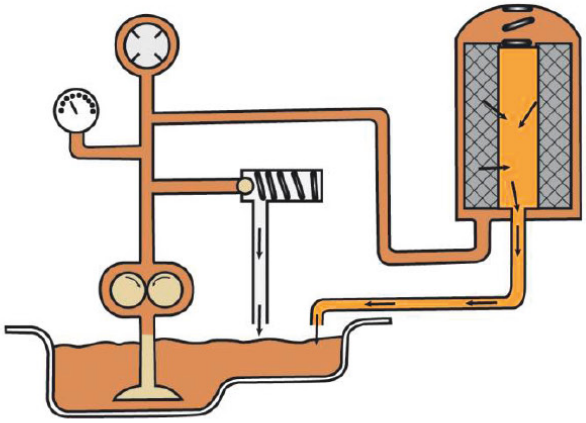


Figura 7.20 *Filtro de aceite en derivación.*

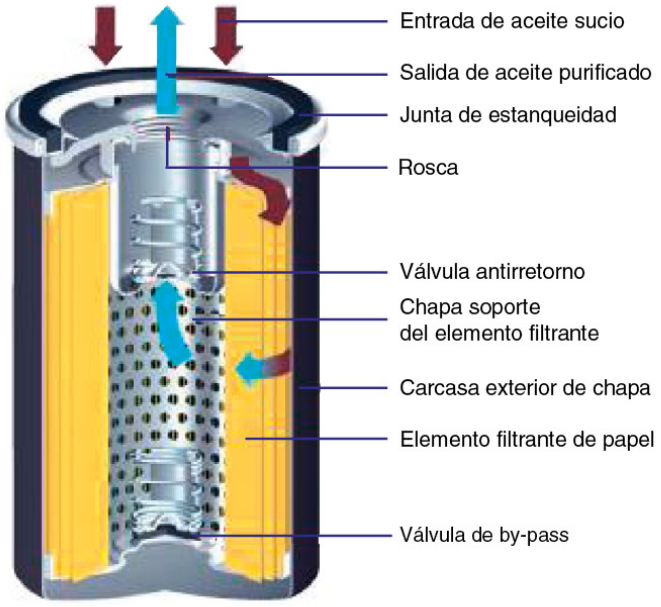


Figura 7.21. *Partes de un filtro de aceite.*

Las partes fundamentales de un filtro de aceite son las que indica la Figura 7.21. El aceite sucio entra por los orificios exteriores y después pasa al elemento filtrante, que normalmente suele ser papel, algodón o fibras sintéticas. Posteriormente sale filtrado por el orificio central. El filtro suele incorporar una válvula antirretorno para que el flujo vaya en un único sentido, evitando la descarga del circuito a motor parado, y una válvula de by-pass que permite que circule aceite sin filtrar en caso de saturación del filtro.

Los filtros pueden ser de dos tipos, como muestra la Figura 7.22:

– **Monobloque:** este tipo de filtro es como el que se ve seccionado en la Figura 7.20. El elemento filtrante se encuentra encerrado dentro de una carcasa de chapa formando una unidad que se rosca al soporte del filtro de aceite.

– **De cartucho intercambiable:** en este caso el elemento filtrante o cartucho va alojado en una carcasa que forma parte del motor y se cierra con una tapa roscada, normalmente de plástico interponiendo una junta tórica de estanqueidad. Cuando se sustituye el filtro hay que sustituir también dicha junta tórica. Este sistema es más económico que el filtro monobloque.

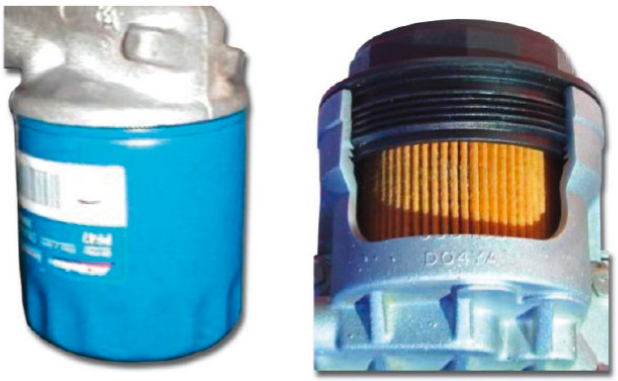


Figura 7.22. *Diferentes tipos de filtro de aceite.*

- **Enfriador de aceite:** dado que el aceite puede alcanzar temperaturas que merman sus propiedades, es necesario refrigerarlo para mantenerlo a una temperatura inferior a los 140° medidos en el cárter. Para refrigerar el aceite se pueden emplear dos sistemas:

  – **Intercambiador agua-aceite:** normalmente se sitúa antes de la entrada al filtro, como muestra la Figura 7.23. El aceite circula por un serpentín con aletas que aumentan la superficie de contacto con una cámara de líquido refrigerante que enfría el aceite. Puede estar junto al filtro o alejado del mismo.

© Ediciones Paraninfo

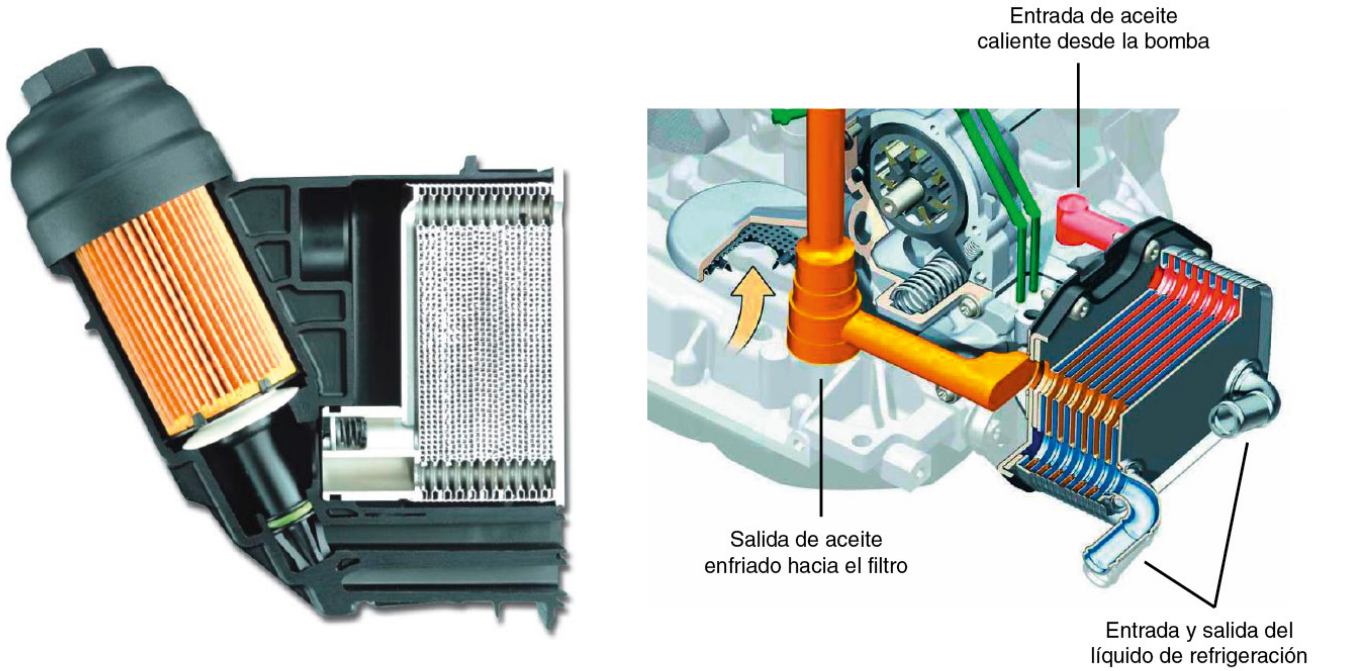


Figura 7.23. *Intercambiador agua-aceite.*

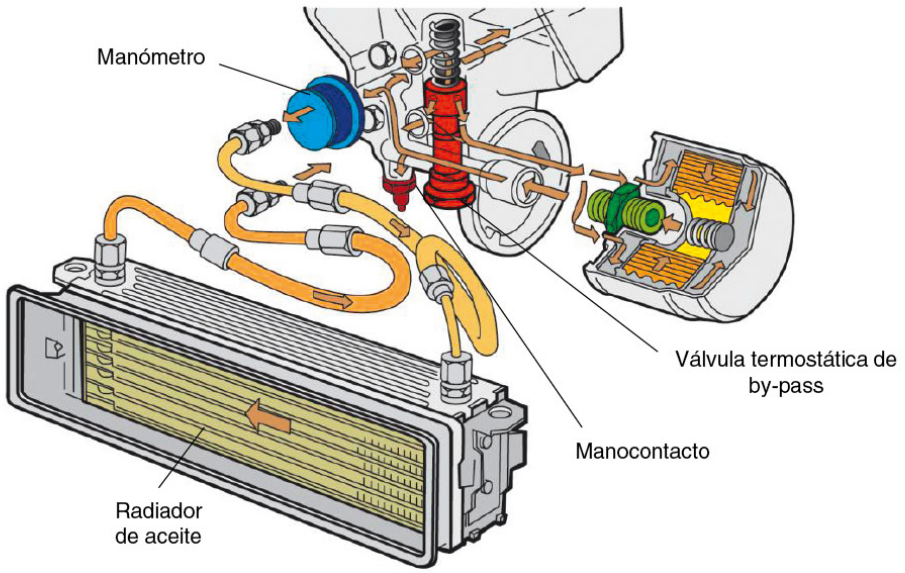


Figura 7.24. *Intercambiador aire-aceite.*

– **Intercambiador aire-aceite:** a través de este elemento, mostrado en la Figura 7.24, circula el aceite y es enfriado por el aire de la marcha del vehículo o cuando se pone en contacto el electroventilador. Una válvula termostática se encarga de dirigir el aceite hacia el radiador en función de la temperatura, de forma que hasta que no se alcanza cierta temperatura no pasa por el mismo.

- **Sistema de ventilación del cárter:** parte de los gases de las fases de compresión y combustión se fugan a través de los segmentos por efecto *blow-by* desde la parte alta del cilindro hasta el cárter. Estos vapores se condensan en forma de agua en las paredes del cilindro y al parar el motor descienden al cárter mezclándose con el aceite. El agua, al ser más densa que el aceite, se queda en

© Ediciones Paraninfo

el fondo del cárter y es lo primero que aspira la bomba cuando el motor se vuelve a poner en marcha, por lo que la lubricación en esos primeros instantes tras el arranque es defectuosa y además el aceite se va degradando de forma rápida. Por otro lado, si estos vapores no son evacuados, se crearía una contrapresión en el cárter que dificultaría el movimiento de los pistones, además de poder alcanzar una presión que deterioraría las juntas y retenes de aceites. Antiguamente estos vapores se enviaban directamente a la atmósfera pero la normativa anticontaminación obliga a tratarlos para reducir las emisiones contaminantes. Para ello, se dispone del sistema de ventilación positiva del cárter (PCV). El esquema básico de este circuito puede verse en la Figura 7.25, donde los vapores del cárter ascienden hasta la tapa de balancines y de ahí, a través de un conducto (1), llegan hasta un decantador (2), que condensa parte del aceite para que retorne al cárter por el tubo (3). Los vapores no condensados se envían a la admisión por el conducto (4), donde se introducen de nuevo en el cilindro cumpliendo una doble función, por un lado lubrican la parte alta del cilindro y por otro lado son quemados evitando su emisión directamente a la atmósfera como hidrocarburos sin quemar.

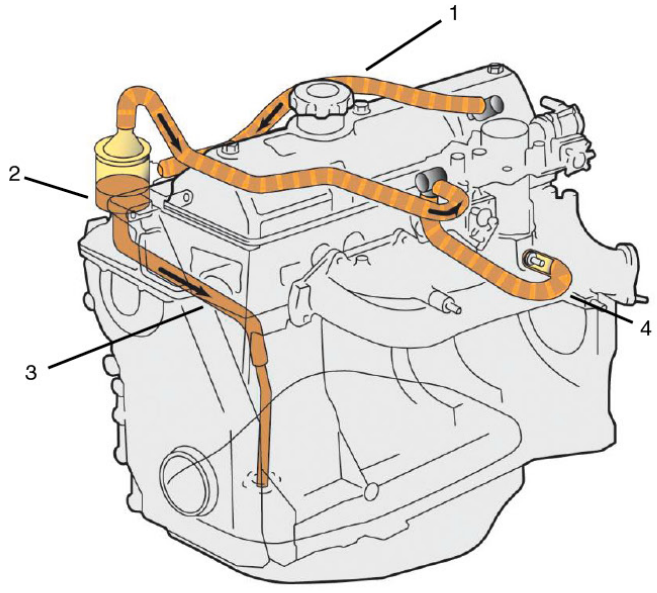


Figura 7.25. *Sistema de ventilación del cárter.*

Algunos sistemas no tienen el decantador externo y aprovechan parte de la tapa de balancines para este efecto, como puede verse en la Figura 7.26, donde los vapores de aceite entran en un laberinto que aumenta la superficie de contacto favoreciendo la condensación de los mismos.

Figura 7.26. *Sistema de ventilación del cárter con decantador en tapa de balancines.*

- **Elementos de control del circuito:** el sistema de lubricación está provisto de diferentes elementos que ayudan a su control, cuyo número depende del equipamiento del vehículo. Los más importantes son:

  – **Manocontacto:** el manocontacto sirve para detectar si existe presión de aceite suficiente en el circuito de lubricación. Funciona como un interruptor, cuando no hay presión de aceite, por ejemplo con el motor parado, comunica la lámpara testigo del cuadro, alimentada con tensión de batería, con masa, iluminándose. Cuando el motor arranca, la presión de aceite vence la fuerza de un muelle que mantenía los contactos unidos y los separa, apagándose la luz. La luz se puede encender también si el circuito de lubricación pierde presión y esta se sitúa en un valor inferior a 0,5 bares. La Figura 7.27 muestra el manocontacto y el testigo del cuadro de instrumentos.

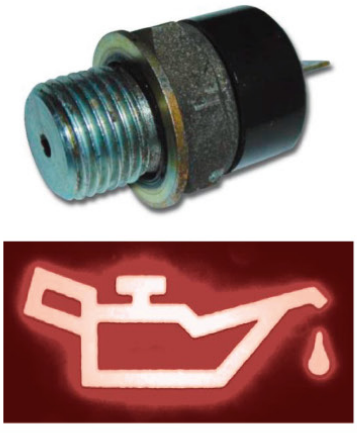


Figura 7.27. *Manocontacto (arriba) y testigo de presión de aceite del cuadro de instrumentos (abajo).*

© Ediciones Paraninfo

– **Manómetro:** en algunos vehículos se instala como elemento adicional un manómetro de presión de aceite, como el que puede verse en la Figura 7.28. Se encarga de indicar la presión de aceite del circuito en todo momento. La aguja indicadora se mueve por la variación de intensidad producida por un sensor que tiene una resistencia variable dependiente de la presión de aceite del motor.

Figura 7.28. *Manómetro de presión de aceite del cuadro de instrumentos.*

– **Sonda de nivel:** la sonda de nivel de aceite está formada por un cable que tiene una elevada resistencia eléctrica, que varía en función de cuánto esté sumergido en el cárter de aceite. A través del cable circula una corriente eléctrica y dependiendo de qué proporción del cable esté sumergida en aceite y qué proporción esté al aire se produce una diferencia de potencial entre los terminales. Esta diferencia de potencial, es interpretada por el sistema de gestión electrónico del cuadro de instrumentos y se asocia a un nivel determinado, que aparecerá en el cuadro. En la Figura 7.29 puede verse el aspecto de una sonda de nivel de aceite y de la pantalla indicadora del cuadro de instrumentos.

Figura 7.29. *Sonda de nivel de aceite (arriba) e indicador de nivel de aceite del cuadro de instrumentos (abajo).*

– **Sonda de temperatura:** algunos vehículos incorporan una sonda de temperatura, que a través de una aguja indicadora mostrará en el cuadro de instrumentos la temperatura del aceite en cada momento.

– **Indicador de calidad:** en vehículos de alta gama o industriales se instala un indicador de calidad del aceite, que en función de las propiedades del mismo informa a través de una pantalla del cuadro de instrumentos cuando es necesario sustituirlo. De esta forma, los intervalos de mantenimiento pueden variar en función del estado del lubricante.

7.4. Gestión electrónica de la lubricación del motor

Actualmente, existen nuevas tecnologías para la gestión electrónica de la lubricación del motor. A continuación se va a explicar el funcionamiento de una bomba de aceite con regulación electrónica y de un sensor de estado de aceite.

7.4.1. Bomba de aceite con regulación electrónica

El funcionamiento de este tipo de bombas es similar a las de corredera de regulación mecánica-hidráulica, salvo que ahora la alimentación de la bomba se realiza por medio de control electrónico. Tanto las bombas de regulación mecánica-hidráulica como las de regulación electrónica pueden ser de corredera oscilante o de corredera lineal. Para explicar las bombas con regulación electrónica se va a poner como ejemplo una que monta corredera lineal, siguiendo la Figura 7.30.

La corredera puede encontrarse en dos situaciones extremas:

- **Suministro máximo:** la corredera está con el máximo descentrado con respecto al eje de la bomba. Hay una gran diferencia de volumen entre la zona de aspiración y la zona de impulsión, maximizando la alimentación de aceite.
- **Suministro mínimo:** la corredera está centrada con respecto al eje de giro de la bomba. No existe diferencia de volumen entre la zona de aspiración y la de impulsión, minimizando la alimentación de aceite.

La posición de la corredera depende de la presión de aceite en la cámara de regulación y en función de la misma vence la fuerza del muelle. Cuando la presión es pequeña, la corredera está descentrada, cuando es grande, la

© Ediciones Paraninfo

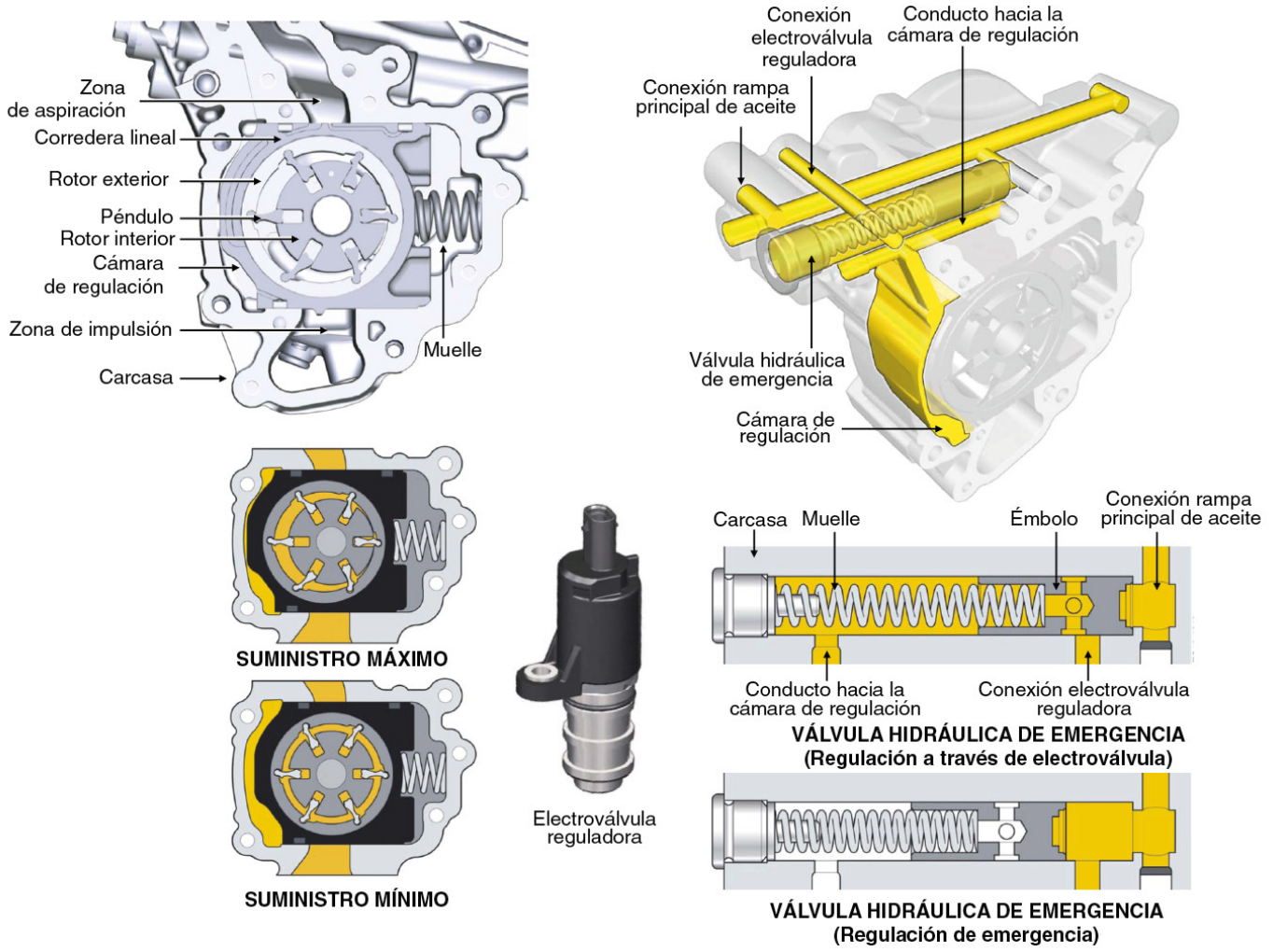


Figura 7.30. *Componentes y funcionamiento de una bomba de aceite con regulación electrónica y corredera lineal.*

corredera tiene una posición concéntrica. Con la regulación electrónica se puede modificar la presión en el muelle de regulación, a través de la electroválvula reguladora y de la válvula hidráulica de emergencia.

- **Electroválvula reguladora:** es gestionada por la unidad de control y gobierna el paso de aceite a la cámara de regulación de la bomba. Gracias a esta electroválvula, el muelle es menos rígido que en los sistemas mecánico-hidráulicos convencionales, necesitándose menos presión de aceite para desplazar la corredera hacia una posición concéntrica, por lo que la presión del sistema es menor y se reducen las pérdidas mecánicas. La electroválvula puede reducir la presión de aceite en la cámara de regulación y aumentar el suministro de la bomba.

- **Válvula hidráulica de emergencia:** consiste en una válvula distribuidora proporcional que controla el paso de aceite a la cámara de regulación de la bomba. El émbolo de esta válvula está sometido a dos fuerzas contrapuestas:

  – Por un lado del émbolo, la debida a la presión de aceite procedente de la rampa principal.

  – Por el otro lado del émbolo, la debida a la presión de aceite que proviene de la electroválvula reguladora.

  En función de la diferencia de presiones a ambos lados del émbolo, se descubre en mayor o menor medida el paso de aceite desde la rampa principal hasta la cámara de regulación de la bomba. De esta forma se distinguen dos tipos de regulación:

  – **Regulación a través de la electroválvula reguladora:** el émbolo se mantiene en el tope de la derecha, ya que sobre el extremo izquierdo del mismo actúa la fuerza del muelle y la debida a la presión dosificada por la electroválvula reguladora. El paso de aceite

© Ediciones Paraninfo

hacia la cámara de regulación está parcialmente abierto y la electroválvula reguladora establece directamente la presión reinante en la cámara de regulación, modificando la capacidad de suministro de la bomba.

– **Regulación de emergencia:** en el funcionamiento normal del sistema, el control de la presión en la cámara de regulación de la bomba se lleva a cabo a través de la electroválvula reguladora, pero hay que tener en cuenta que este elemento puede dejar de funcionar, por avería o por producirse alguna circunstancia que hace que el sistema de gestión electrónica lo desconecte. En este caso, el lado izquierdo del émbolo se queda sin presión de aceite y solo interviene la fuerza del muelle. De esta forma, se descubre totalmente el orificio de paso desde la rampa principal a la cámara de regulación. La presión queda limitada a unos 5,5 bar (en el funcionamiento normal era de 4,5 bar) y por debajo de esta cifra no existe regulación al no permitirse el paso hacia la cámara de regulación.

La electroválvula de regulación se desconecta pasando el sistema de gestión electrónica al modo de emergencia, si se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Fallo de la electroválvula reguladora.
- Fallo en el sensor de presión de aceite.
- Temperatura exterior inferior a un determinado valor (clima extremadamente frío).
- Temperatura del aceite o del refrigerante excesivamente alta.
- Ciclo de conducción anormal, como funcionamiento del motor a alto régimen de giro durante un tiempo prolongado.

En este tipo de bomba se sigue manteniendo una válvula limitadora de presión por seguridad, abriéndose a partir de unos 12,5 bar y derivando el aceite al cárter. Esto es necesario a muy bajas temperaturas, cuando el aceite es muy poco fluido.

7.4.2. Sensor de nivel y estado del aceite

Este elemento, mostrado esquemáticamente en la Figura 7.31, está formado por dos condensadores cilíndricos colocados uno encima del otro. La medición del estado del aceite se realiza en el condensador inferior. Los electrodos de los condensadores consisten en dos tubos metálicos concéntricos, entre los cuales se encuentra el aceite como material dieléctrico, es decir, que no conduce la electricidad. La conductividad del aceite varía en función de su envejecimiento y descomposición de los aditivos, por lo que también varía la capacidad del condensador. El valor de la capacidad es medido en el sistema electrónico del sensor y convertido en una señal digital para enviar a la unidad de control del motor, calculando el tiempo para el siguiente cambio de aceite. El nivel de aceite se mide en la parte superior del sensor. Según disminuye el nivel, se modifica la capacidad del condensador y el sistema electrónico del sensor convierte esta magnitud en una señal digital que envía a la unidad de control del motor.

El sensor incorpora una función de autodiagnóstico, y en caso de fallo del mismo, se registra la correspondiente avería en el sistema de gestión del motor.

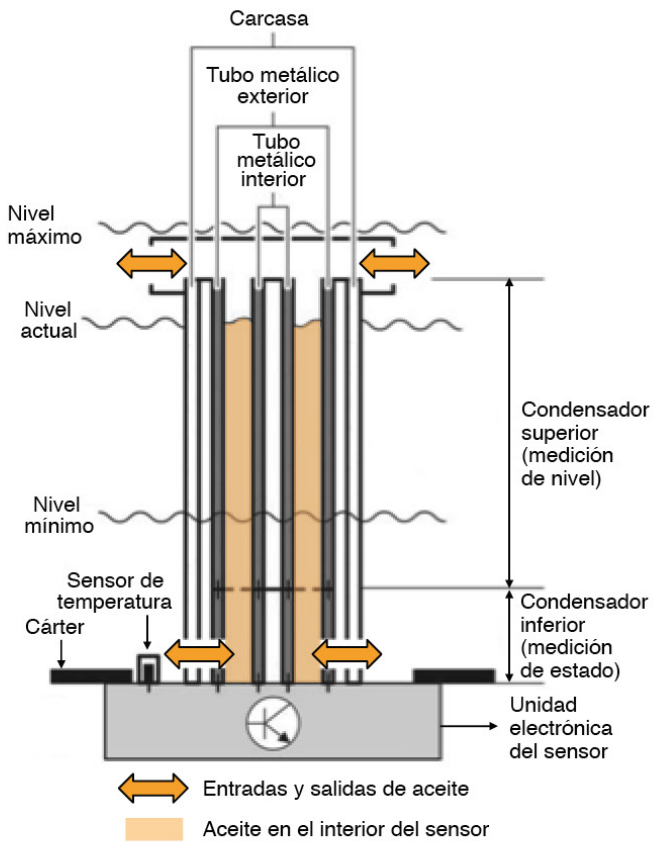


Figura 7.31. *Esquema del sensor de nivel y estado del aceite.*

La medición del nivel de aceite puede ser de tres tipos:

- **Estática:** se produce al dar el contacto y antes de arrancar el motor. Se verifica que existe suficiente aceite para arrancar el motor, debiendo estar por encima de cierto nivel umbral.
- **De estimación:** se realiza tras arrancar el motor e indica el nivel al transcurrir un cierto tiempo, dependiendo de si el vehículo está parado o en movimiento.

© Ediciones Paraninfo

- **Dinámica:** ofrece un valor preciso del nivel, calculando a su vez el consumo de aceite. Para ello, establece un valor medio en un período de tiempo breve y tras un cierto tiempo en marcha se obtiene un valor medio a mayor plazo que se queda memorizado en la unidad de control del motor.

En la medición del nivel de aceite se establece un factor de corrección llevado a cabo por la unidad de control en función del régimen de giro y de las aceleraciones longitudinales y transversales.

7.5. Mantenimiento, averías y comprobaciones del sistema de lubricación

7.5.1. Mantenimiento del sistema de lubricación

El mantenimiento del sistema de lubricación puede resumirse en comprobar el nivel periódicamente y la sustitución del fluido con el filtro.

- **Comprobación del nivel de aceite:** el control de nivel de aceite puede efectuarse desde el cuadro de instrumentos, gracias a una sonda de nivel instalada en el cárter, o por medio de la varilla de aceite, como aparece en la Figura 7.32. Para comprobar el aceite con la varilla hay que colocar el vehículo en una superficie horizontal, parar el motor y esperar unos minutos para que el aceite se deposite en el cárter. Después se extrae la varilla y se limpia, se vuelve a introducir y se vuelve a sacar. En ese momento hay que observar que el nivel de aceite se encuentre entre el mínimo y el máximo. Si el nivel se encuentra por debajo del mínimo puede descebarse la bomba en algún momento en el que la trompa de aspiración no esté sumergida, como en una curva, por ejemplo, dejando por unos instantes sin presión el circuito. En ese caso hay que reponer aceite. Si el nivel está por encima del máximo, puede aumentar la cantidad de niebla de aceite debido al batimiento del mismo por el cigüeñal, incrementando los vapores de aceite que pueden pasar a la cámara de combustión por los segmentos y por el sistema de ventilación positiva del cárter. En este caso habría que retirar parte del aceite.

- **Sustitución del aceite y del filtro:** la reposición del aceite y del filtro hay que realizarla en los intervalos indicados en el manual del fabricante. El aceite puede retirarse de dos formas, la primera es mediante un sistema de aspiración introduciendo un tubo hueco por el orificio de la varilla de aceite, por donde es extraído a través de una bomba de vacío y trasladado a un depósito. La segunda forma es por escurrido retirando el tapón del cárter. El

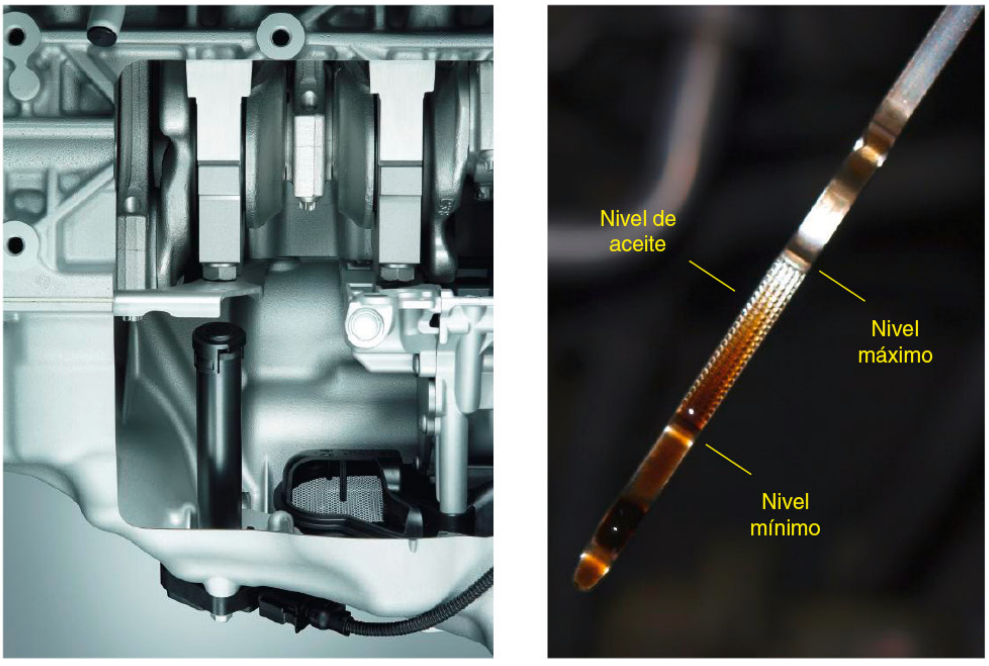


Figura 7.32. *Sonda de nivel de aceite (izquierda) e interpretación del nivel de aceite con varilla (derecha).*

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

Existen medidores electrónicos de nivel de aceite. Este dispositivo tiene dos componentes de medición de resistencia, uno que ofrece un valor de medición y otro que ofrece un valor de referencia, que depende de la temperatura que tenga la placa del circuito del sensor. Para conocer el nivel de aceite, el componente que ofrece el valor de medición se calienta durante un tiempo determinado por la unidad de control y después tarda un cierto tiempo en enfriarse. Dependiendo del tiempo que tarde en calentarse se estima el nivel de aceite. El mismo dispositivo incorpora un sensor de temperatura de aceite. La información de nivel y temperatura es enviada a la unidad de control del motor a través de una señal de tipo PWM.

procedimiento de sustitución del aceite por este último método y cambio del filtro es el siguiente:

- Calentar el motor para que el aceite esté más fluido y facilite el escurrido del mismo.
- Ubicar los puntos clave para realizar el cambio de aceite, como muestra a modo de ejemplo la Figura 7.33.
- Quitar el tapón de vaciado del cárter y verterlo en un recipiente adecuado. Es importante el retirar la varilla de aceite para facilitar el escurrido, ya que a medida que va saliendo el aceite se crea vacío dentro del motor. La Figura 7.34 muestra algunas de las posibles llaves necesarias para quitar el tapón del cárter.

Figura 7.34. *Posibles llaves necesarias para aflojar y apretar el tapón del cárter.*

- Aflojar y retirar el filtro de aceite con alguna de las herramientas que aparecen en la Figura 7.35.
- Poner el tapón del cárter sustituyendo la arandela o junta, ya que esta se deforma por aplastamiento, como puede verse en la Figura 7.36, donde también se muestran diferentes tipos de juntas y el apriete del tapón.
- Instalar el filtro nuevo, aplicando aceite nuevo en la junta de goma y en la rosca. Posteriormente apretarlo con la mano, normalmente un cuarto de vuelta tras notar que ha llegado al tope, como muestra la Figura 7.37.
- Proceder al llenado de aceite con la cantidad prescrita por el fabricante y arrancar el motor hasta que se apague el testigo de presión de aceite con el fin de efectuar la carga del circuito y el llenado del filtro nuevo, como aparece en la Figura 7.38.

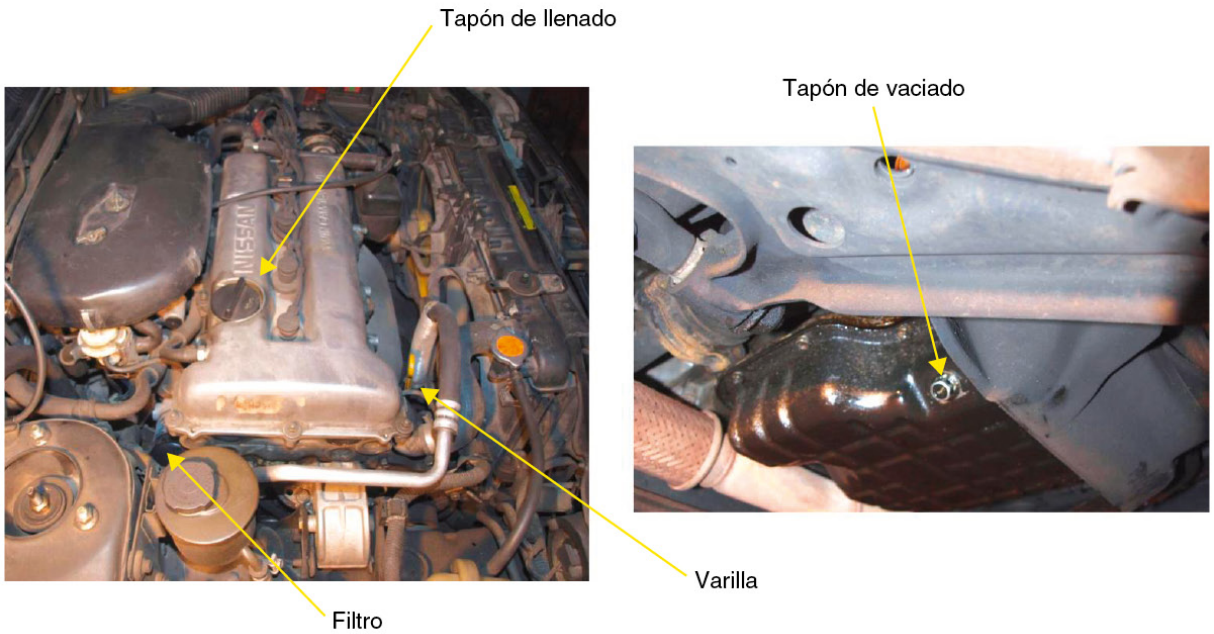


Figura 7.33. *Puntos característicos a la hora de sustituir el aceite y el filtro.*

© Ediciones Paraninfo

Figura 7.35. *Algunas de las herramientas necesarias para aflojar el filtro (arriba) y aflojado del mismo (abajo).*

Figura 7.36. *Comparación de una arandela nueva con una usada (arriba la izquierda), diferentes tipos de juntas (arriba a la derecha) y apriete del tapón (abajo).*

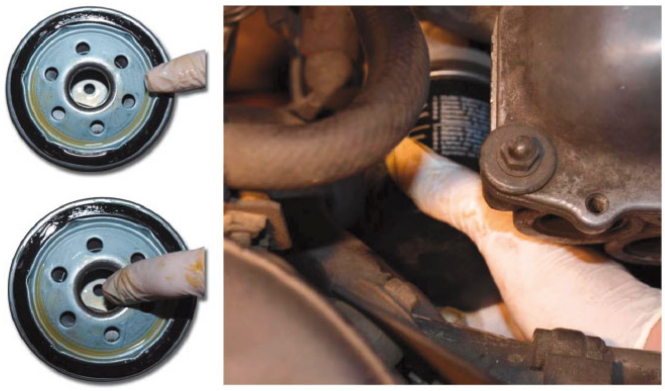


Figura 7.37. *Instalación del filtro nuevo.*

Figura 7.38. *Llenado de aceite y carga del circuito.*

– Comprobar el nivel de aceite y reponer si es necesario, como muestra la Figura 7.39.

Figura 7.39. *Comprobación del nivel de aceite.*

© Ediciones Paraninfo

7.5.2. Averías del sistema de lubricación

Las averías más frecuentes del sistema de lubricación son las siguientes:

- **Consumo excesivo de aceite:** cuando el consumo de aceite es superior a 0,25 litros cada 1.000 kilómetros es posible que se dé alguna de las siguientes circunstancias:
  - Empleo de aceite de viscosidad inferior a la especificada.
  - Temperatura del circuito de lubricación elevada, por encima de 120 °C.
  - Paso de aceite a través de las guías o retenes de válvula.
  - Engomado de los segmentos.
- **Degradación acelerada del aceite:** cuando el aceite se degrada prematuramente puede ser un indicio de una avería, cuyas consecuencias en el fluido pueden ser:
  - Partículas carbonosas debidas a la combustión de parte del aceite.
  - Oxidación del aceite, que da lugar a barnices, debida a la pérdida de sus propiedades ocasionada por estar sometido a una elevada temperatura de funcionamiento.
  - Dilución del aceite por paso de combustible o agua al mismo a través de los segmentos. Esto puede ser debido a la realización de arranques y paradas frecuentes con el motor frío.
  - Incremento de la acidez debido a la presencia de azufre en el combustible y pérdida de los aditivos neutralizantes del lubricante.
  - Aparición de partículas metálicas o polvo, las primeras debidas a un desgaste excesivo de los componentes, las segundas debidas a la realización del mantenimiento en lugares polvorientos.
- **Presión del circuito demasiado baja:** las causas más frecuentes pueden ser:
  - Aceite de viscosidad demasiado baja, bien por ser inadecuado para ese motor y las condiciones climáticas donde va a funcionar, o bien por estar muy degradado.
  - Colmatación del filtro de aceite cuando este va montado en serie.
  - Pérdida del tarado de la válvula de descarga, que abre a una presión inferior a la especificada.
  - Juego excesivo entre los engranajes o rotores de la bomba de aceite.
  - Fugas de aceite por alguna junta o manguito.
  - Superación del juego máximo admisible en los cojinetes de los apoyos y muñequillas del cigüeñal o de los apoyos del árbol de levas.
- **Presión de aceite demasiado alta:** el origen de esta circunstancia puede encontrarse en:
  - Aceite de viscosidad demasiado elevada por ser inadecuado para ese motor y para las condiciones climáticas donde va a funcionar.
  - Colmatación del filtro de aceite cuando este va montado en paralelo o derivación, haciendo pasar todo el caudal de aceite hacia el circuito y no repartirlo entre este y el filtro.
  - Válvula de descarga agarrotada o tarada para una presión superior a la especificada.
  - Obstrucción de los conductos del circuito.

7.5.3. Comprobaciones del sistema de lubricación

Además del control periódico del nivel de aceite y de la inspección visual de que no existen pérdidas acusadas en ningún sitio, las comprobaciones más habituales si hubiese una anomalía en el sistema de lubricación son la verificación de la presión del circuito y la comprobación de la bomba de aceite.

- **Comprobación de la presión del circuito:** para comprobar la presión de aceite del circuito de lubricación hay que retirar el manocontacto y situar en su lugar, empleando el adaptador específico para esa rosca, un manómetro, de la forma mostrada en la Figura 7.40. Posteriormente se arranca el motor y se lleva a su temperatura de régimen, es decir, hasta que entren en funcionamiento los electroventiladores, y se mide la presión a diferentes regímenes. En función del tipo de motor, el fabricante especificará qué presiones ha de tener a diferentes regímenes. Para tener una idea del orden de magnitud, al ralentí debe de leerse en el manómetro una presión superior a 0,5 kg/cm^2, mientras que entre 3000 y 4000 rpm la lectura debe de ser de 3 a 5 kg/cm^2, sin sobrepasar esta última cifra.
- **Comprobación de la bomba de aceite:** cuando se estime que una avería en el sistema de lubricación es causa de la bomba o aprovechando el desmontaje del motor por otra operación diferente, hay que comprobar la bomba de aceite. Se puede verificar también la válvula de descarga, que no debe presentar síntomas de agarrotamiento ni apreciar daños en la periferia del émbolo. La revisión de la bomba se basa fundamentalmente en comprobar los siguientes juegos con una galga de espesores:

© Ediciones Paraninfo

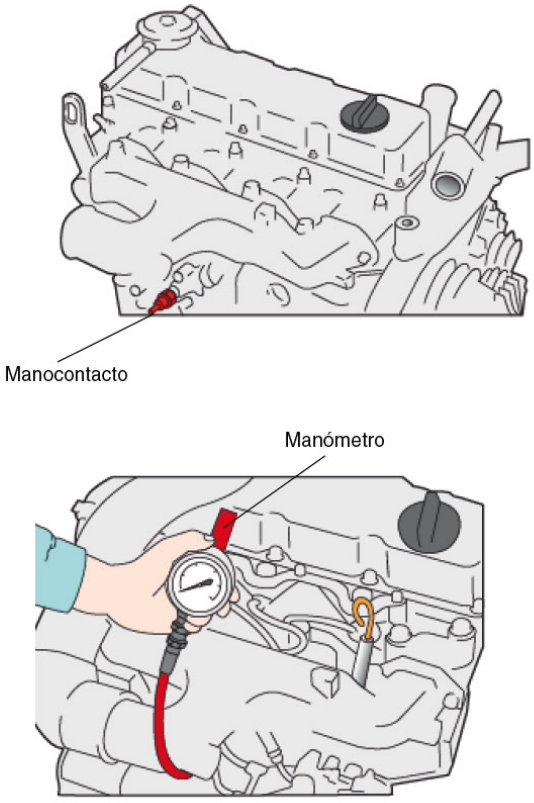


Figura 7.40. *Comprobación de la presión del circuito de lubricación.*

– Juego radial.

– Juego axial.

– Juego entre dientes.

La Figura 7.41 muestra cómo se realizan las comprobaciones de los juegos para una bomba de engranajes y de engranajes interiores, siendo para la de lóbulos igual que esta última.

En la Tabla 7.12 figuran como referencia los juegos máximos admisibles de las diferentes bombas.

Una vez comprobada la bomba, se vuelve a montar, se instala el cárter o la carcasa de distribución, según sea el caso, con la junta correspondiente, y se vuelve a comprobar la presión del sistema de lubricación.

TABLA 7.12

Juegos máximos admisibles [mm]	Radial	Entre dientes / lóbulos	Axial
Bomba de engranajes	0,20	0,20	0,15
Bomba de lóbulos	0,25	0,25	0,15
Bomba de engranajes interiores	0,20	0,20	0,10

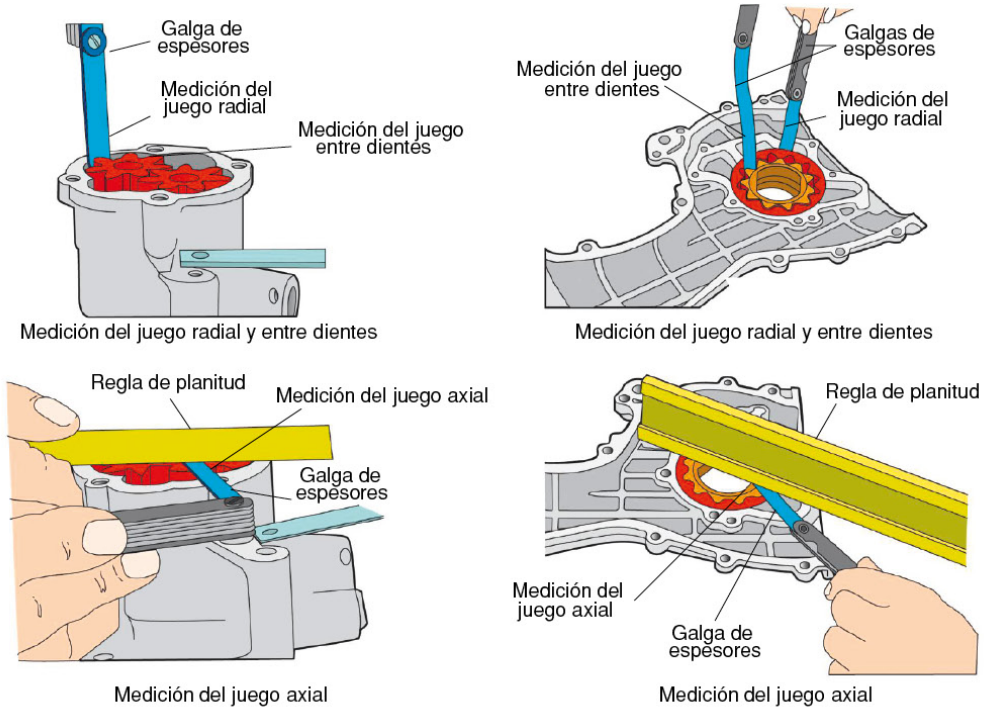
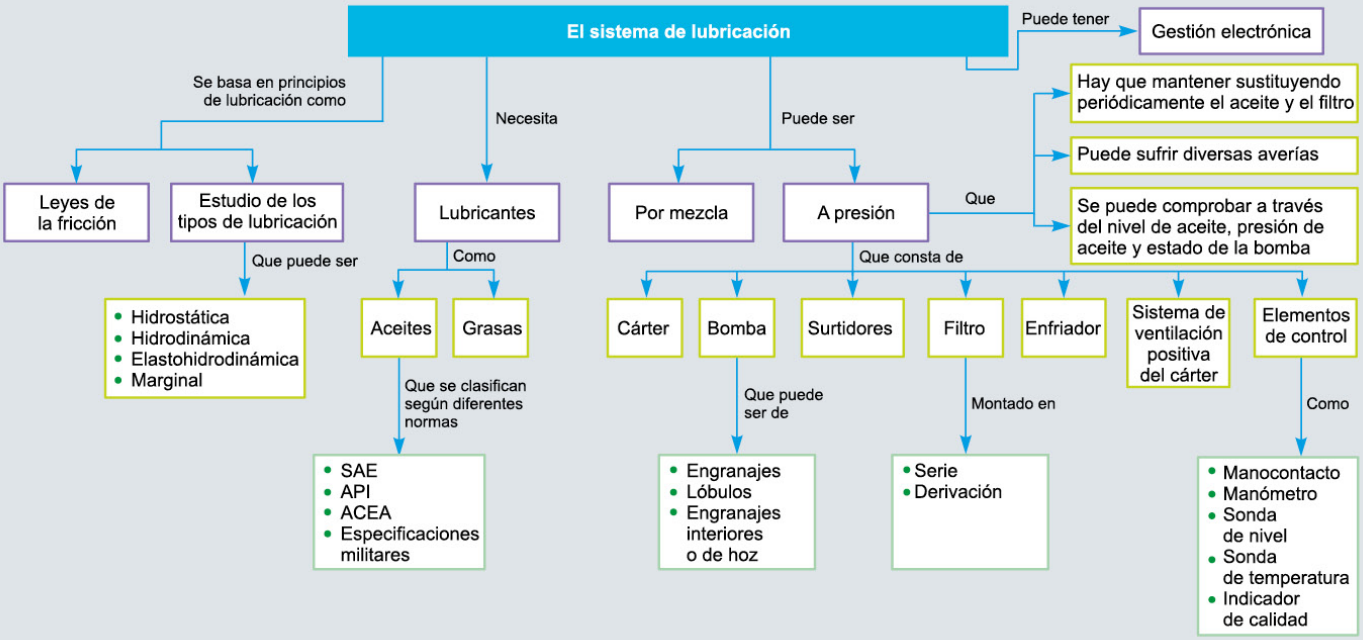


Figura 7.41. *Comprobaciones de los juegos de una bomba de engranajes (izquierda) y de engranajes interiores (derecha).*

© Ediciones Paraninfo

SÍNTESIS

El sistema de lubricación



© Ediciones Paraninfo

COMPRUEBA

7.1. La fuerza de rozamiento:

a) Depende del área de las superficies en contacto.

b) Depende de la naturaleza de las superficies en contacto.

c) Es inversamente proporcional a la fuerza normal a la superficie.

d) Todas las anteriores.

7.2. El régimen de lubricación que se obtiene introduciendo aceite a presión entre las superficies en contacto es la:

a) Hidrodinámica.

b) Hidrostática.

c) Elastohidrodinámica.

d) Todas las anteriores.

7.3. Los aditivos del aceite que mantienen en suspensión las partículas que circulan por el sistema son los:

a) Antiespumantes.

b) Detergentes.

c) Dispersantes.

d) Neutralizantes.

7.4. La norma que clasifica los aceites en función de la viscosidad sin tener en cuenta las condiciones de servicio es la:

a) SAE.

b) API.

c) ACEA.

d) ASTM.

7.5. Cuáles de los siguientes elementos necesitan presión de aceite para su lubricación y/o funcionamiento:

a) Apoyos y muñequillas del cigüeñal.

b) Taqués hidráulicos y compensadores de juego.

c) Apoyos del árbol de levas.

d) Todos los anteriores.

7.6. El sistema que ubica el filtro de forma que todo el aceite pasa a través de él es:

a) Montaje en serie.

b) Montaje en paralelo.

c) Montaje en derivación.

d) Depende de la gestión de la bomba de aceite.

7.7. El elemento de control del circuito de lubricación que indica si hay presión suficiente en el circuito es el:

a) Manocontacto.

b) Manómetro.

c) Sonda de nivel de aceite.

d) Sonda de temperatura de aceite.

7.8. El elemento de control del circuito de lubricación que indica en todo momento la presión en el circuito es el:

a) Manocontacto.

b) Manómetro.

c) Sonda de nivel de aceite.

d) Sonda de temperatura de aceite.

7.9. Un juego excesivo entre los engranajes o rotores de la bomba de aceite provoca:

a) Un consumo excesivo de aceite.

b) Una degradación acelerada del aceite.

c) Una presión del circuito demasiado baja.

d) Una presión del circuito demasiado alta.

7.10. El engomado de los segmentos provoca:

a) Un consumo excesivo de aceite.

b) Una degradación acelerada del aceite.

c) Una presión del circuito demasiado baja.

d) Una presión del circuito demasiado alta.

REALIZA

7.11. Localizar al menos cinco envases de lubricantes diferentes y anotar qué normativa cumplen.

7.12. Tomar el manual de taller de al menos cinco vehículos y ver qué aceite es el especificado por el fabricante. Relacionar las características del aceite con las de cada motor.

7.13. Tomar un vehículo y localizar los siguientes elementos del sistema de lubricación: filtro de aceite, enfriador de aceite, manocontacto, manómetro (si lo incorpora) y sonda de nivel de aceite (si la incorpora).

7.14. Desmontar una bomba de aceite e identificar cuál es el lado de aspiración y el de impulsión.

© Ediciones Paraninfo

ACTIVIDADES FINALES

El sistema de lubricación

7.15. Identificar en un motor el circuito de ventilación del cárter y sus componentes.

7.16. Realizar la sustitución de aceite y filtro en un vehículo del taller de la forma descrita en el capítulo.

7.17. Comprobar la presión de aceite del circuito de la forma indicada en el capítulo, anotando diferentes valores a distintos regímenes de giro del motor. Interpretar los resultados comparándolos con los prescritos por el fabricante.

7.18. Comprobar los juegos de las bombas de engranajes disponibles en el taller y comparar los resultados obtenidos con los que aparecen en el manual de taller del fabricante.

7.19. Desmontar una válvula de descarga del cuerpo de la bomba e inspeccionar su estado.

7.20. Tomar un vehículo y localizar los elementos de control del sistema de lubricación. Asociarlos a los diferentes testigos, relojes y pantallas del cuadro de instrumentos.

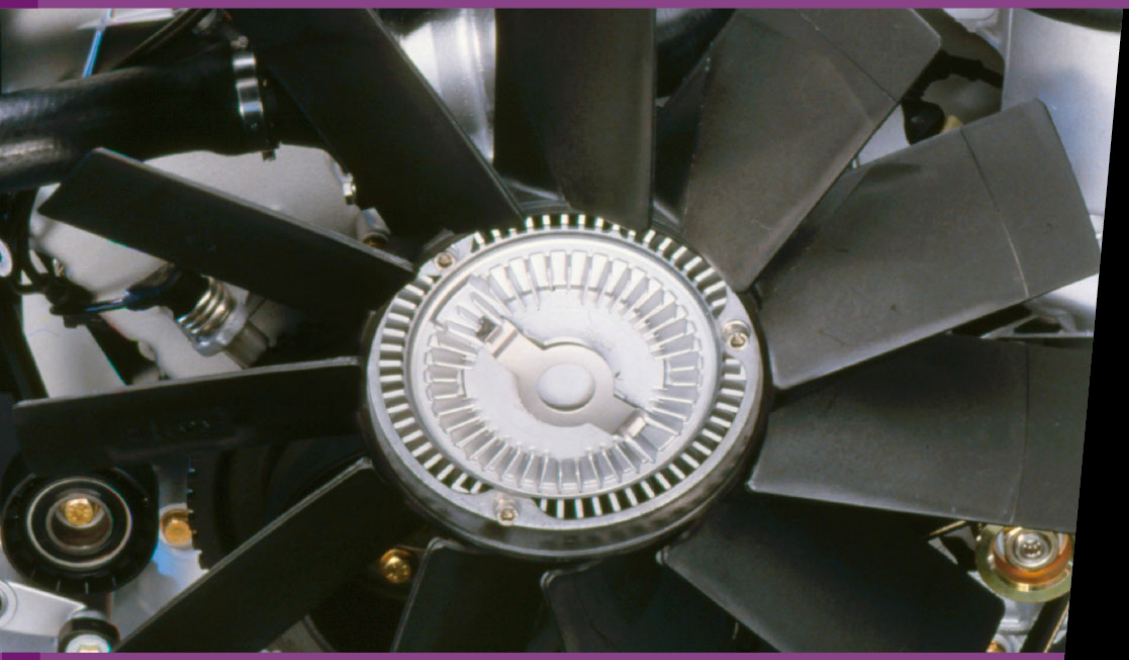
INVESTIGA

7.21. Realizar un esquema del sistema de lubricación de un motor analizando qué elementos van lubricados a presión, dónde están los retornos de aceite al cárter y ubicar todos los componentes.

7.22. Desarrollar un método de investigación de averías del sistema de lubricación, partiendo de los efectos o consecuencias y relacionándolos con las posibles causas.

© Ediciones Paraninfo

El sistema de refrigeración



8

CONTENIDOS

8.1. Objetivo de la refrigeración
8.2. Sistemas de refrigeración
8.3. Elementos del sistema de refrigeración por líquido refrigerante
8.4. Gestión electrónica de la refrigeración del motor
8.5. Mantenimiento, averías y comprobaciones del sistema de refrigeración por líquido refrigerante

OBJETIVOS

- Comprender la necesidad que tienen los motores térmicos de disponer de un sistema de refrigeración.
- Conocer los conceptos fundamentales de la refrigeración por aire y por líquido.
- Describir el funcionamiento del sistema de refrigeración por líquido, forzada por bomba y presurizada.
- Enumerar las características que ha de poseer el líquido refrigerante.
- Analizar los elementos que componen el sistema de refrigeración por líquido refrigerante.
- Identificar las averías más frecuentes del sistema de refrigeración.
- Realizar adecuadamente las operaciones de mantenimiento y las comprobaciones más habituales del sistema de refrigeración.

Los motores de combustión interna necesitan un sistema de refrigeración que les permita evacuar el calor producido, evitando que los componentes alcancen una temperatura excesiva o que se dilaten hasta tal punto que se produzcan agarrotamientos entre las partes móviles.

El sistema de refrigeración puede ser por aire o por líquido, siendo este último el más empleado en automoción.

En este capítulo se explicará el funcionamiento del sistema de refrigeración por líquido refrigerante y se explicarán los elementos que lo componen. Posteriormente se dedicará un apartado al mantenimiento, averías y comprobaciones de este sistema.

8.1. Objetivo de la refrigeración

Los motores de combustión interna generan una gran cantidad de calor debido a la fricción de los elementos en movimiento y, sobre todo, a la combustión de la mezcla en el interior del cilindro. Como es sabido, no toda la energía que potencialmente puede suministrar el combustible es transformada en trabajo, sino que parte se pierde en forma de calor en los gases de escape y en la refrigeración. De hecho, alrededor de un 30 % de la energía potencial del combustible se pierde en cesión de calor a la refrigeración.

Sabías que...

En la cámara de combustión se pueden superar los 2000 °C durante la fase de combustión.

Si el motor no es capaz de evacuar el calor generado se provocarían agarrotamientos de las piezas por una excesiva dilatación de las mismas y el lubricante perdería sus propiedades muy rápidamente. Por otro lado, el rendimiento del motor aumenta según lo hace su temperatura de funcionamiento, por lo que una refrigeración excesiva disminuye las prestaciones. A la vista de esto, se puede deducir que el objetivo de la refrigeración será mantener una temperatura de funcionamiento en diferentes partes del motor, de tal forma que no sufran un excesivo calentamiento ni tampoco provoque un descenso del rendimiento del motor. La Figura 8.1 muestra de forma orientativa las temperaturas de funcionamiento que deben tener diferentes partes del motor para su correcto funcionamiento.

La temperatura de funcionamiento del motor ha de conseguirse lo más rápidamente posible con el fin de que las partes móviles no estén operando mucho tiempo con el juego que tienen en frío, que genera golpeteos entre las mismas hasta que alcanzan la dilatación que minimiza ese juego a la temperatura de régimen. La Figura 8.2 muestra a modo de ejemplo cómo evoluciona la temperatura del bloque de cilindros en función del tiempo de calentamiento hasta alcanzar la temperatura de funcionamiento.

Recuerda que...

La temperatura de régimen debe de alcanzarse lo más rápidamente posible y mantenerse, ya que el aceite en frío tiene una viscosidad demasiado elevada y si se calienta en exceso se vuelve muy fluido. Por tanto, el motor debe funcionar a una temperatura donde el aceite desarrolle mejor la función de lubricación.

El calor transmitido desde los elementos a refrigerar hasta el fluido de refrigeración, ya sea aire o líquido, mejora con:

- El aumento de la conductividad térmica del material.
- El aumento de las superficies en contacto con el fluido de refrigeración y la disminución de su espesor.
- El salto térmico entre el elemento a refrigerar y el fluido de refrigeración.

Una vez alcanzada la temperatura de régimen, debe ser estable para mantener el rendimiento óptimo del motor y el control de la dilatación de las piezas.

Recuerda que...

Además del fluido refrigerante, el aceite también cumple la función de refrigerar el motor.

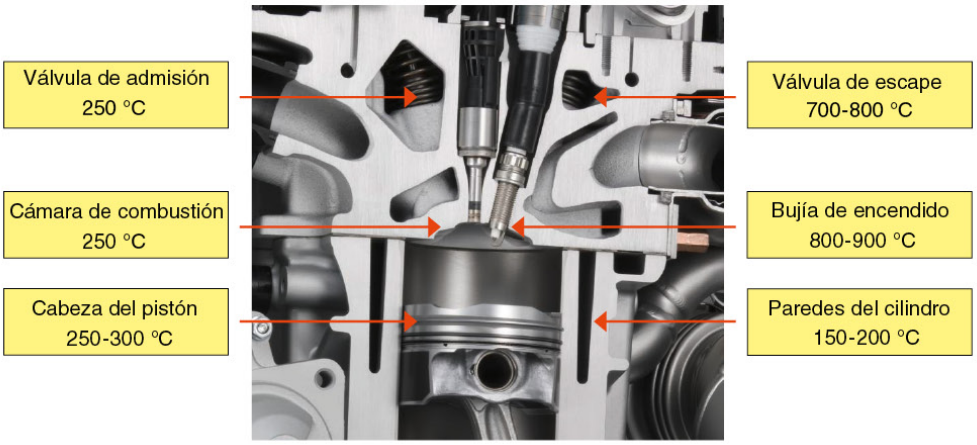


Figura 8.1. *Temperaturas de funcionamiento de diferentes partes del motor para su correcto funcionamiento.*

© Ediciones Paraninfo

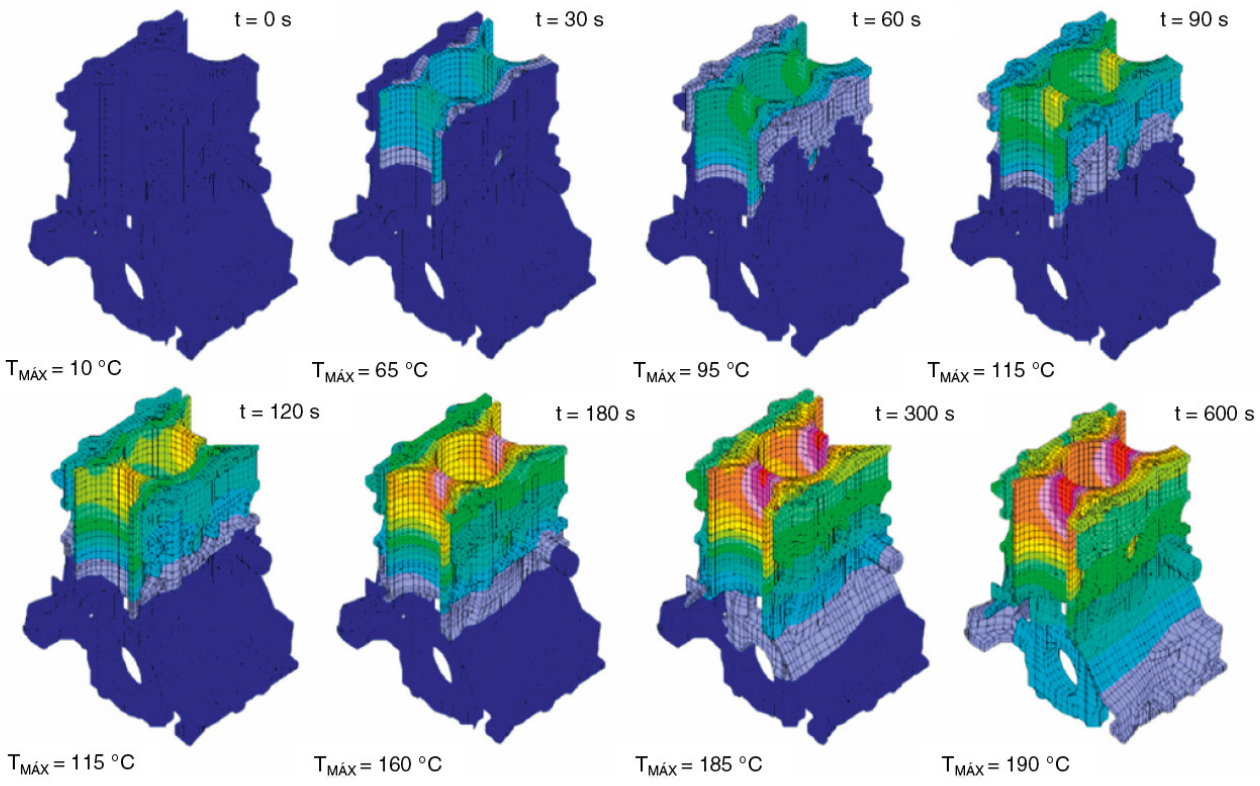


Figura 8.2. *Evolución de la temperatura del bloque de cilindros en función del tiempo de calentamiento hasta alcanzar la temperatura de funcionamiento.*

8.2. Sistemas de refrigeración

Los sistemas de refrigeración se pueden clasificar en dos grandes grupos, refrigeración por aire y refrigeración por líquido.

8.2.1. Por aire

Este sistema se utiliza muy poco en automóviles y se destina a motores de poca cilindrada, como motocicletas y maquinaria pequeña (motosierras, desbrozadoras…). También puede encontrarse en aeronaves y algunos motores de maquinaria de obras públicas.

La refrigeración se produce cuando el aire entra en contacto con las partes exteriores del motor, por lo que los cilindros y la culata disponen de aletas de refrigeración para aumentar la superficie de contacto, siendo las de la culata de mayor superficie que las del cilindro, al ser esta la parte más caliente, como puede apreciarse en la Figura 8.3.

Existen diferentes tipos de sistemas de refrigeración por aire:

- **Refrigeración por el aire de marcha del vehículo:** en la mayoría de los vehículos donde el motor se sitúa fuera del vano motor o de la carrocería, este se refrigera por el aire generado por el movimiento del vehículo, que entra en contacto directo con las aletas de refrigeración. Aunque es un sistema más sencillo, la temperatura de funcionamiento es más fluctuante porque depende de la velocidad del vehículo, disminuyendo mucho la capacidad de refrigerar con el motor parado. Este método es empleado por pequeñas aeronaves, motocicletas, karts…
- **Refrigeración forzada de aire:** cuando el motor se encuentra encerrado en algún compartimento del vehículo, hay que forzar la entrada de aire para su refrigeración. Para ello se dispone de un ventilador, accionado normalmente por el motor, que atrae el aire exterior y lo dirige hacia las aletas de refrigeración por medio de deflectores. Como el ventilador es movido por el motor, al aumentar las revoluciones se incrementa también el flujo de aire, intensificando la refrigeración en las condiciones de funcionamiento más críticas. Para controlar la temperatura, las trampillas o deflectores pueden variar su orientación gracias a una válvula termostática que orienta el flujo de aire en función de la temperatura del motor. Este sistema lo incorporan la mayoría de vehículos automóviles refrigerados por aire, algunos motores industriales y multitud de motocicletas.

© Ediciones Paraninfo

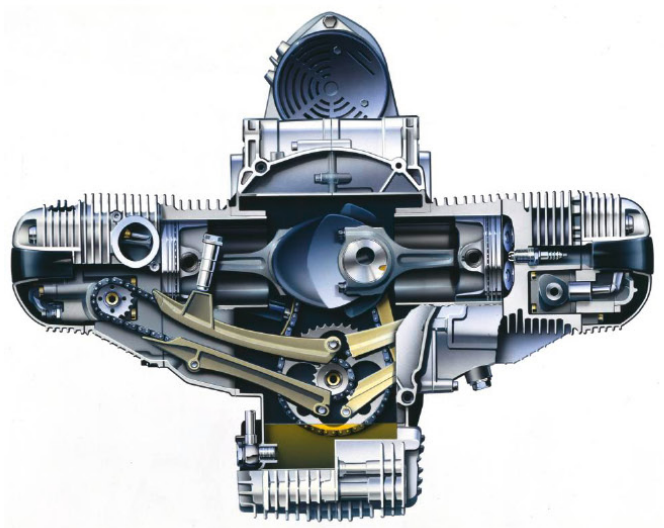


Figura 8.3. *Motor refrigerado por aire.*

Las ventajas e inconvenientes de la refrigeración por aire son:

- **Ventajas:**
  - Aumento del rendimiento del motor por minimizar las pérdidas de calor al funcionar a temperaturas más elevadas.
  - Reducido número de elementos que disminuyen las averías y las operaciones de mantenimiento.
  - Constitución sencilla que reduce los costes de fabricación.
  - Menor peso, lo que aumenta la potencia específica.
  - Rapidez a la hora de alcanzar la temperatura de régimen, que facilita el calentamiento a bajas temperaturas.
- **Inconvenientes:**
  - Dificultad a la hora de regular la temperatura de régimen.
  - Necesidad, en muchos casos, de instalar un radiador de aceite para su enfriamiento.
  - Aumento del ruido del motor porque las aletas de refrigeración lo amplifican y no dispone de camisas de agua rodeando a los cilindros que lo amortigüen.
  - Al funcionar a temperaturas más elevadas es necesario que las partes móviles tengan un mayor juego de montaje en frío, sufriendo un golpeteo más intenso hasta que alcanzan su temperatura de funcionamiento.

La refrigeración por aire es menos eficiente y más difícil de controlar que la refrigeración por líquido. Por este motivo se emplea muy poco en automóviles.

8.2.2. Por líquido

En realidad, este sistema refrigera el motor a través de líquido y aire porque los cilindros y las cámaras de combustión son rodeados por el líquido refrigerante que circula a través de estos conductos del motor, como muestra la Figura 8.4, para luego pasar al radiador, donde es enfriado por aire, produciéndose la cesión de calor.

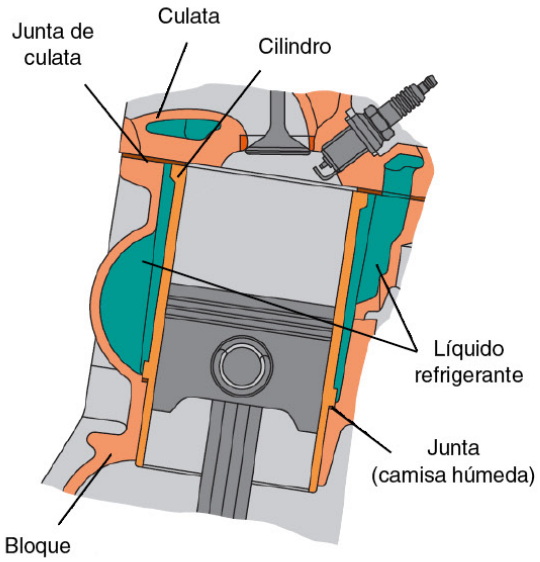


Figura 8.4. *Refrigeración por líquido de los cilindros y la culata.*

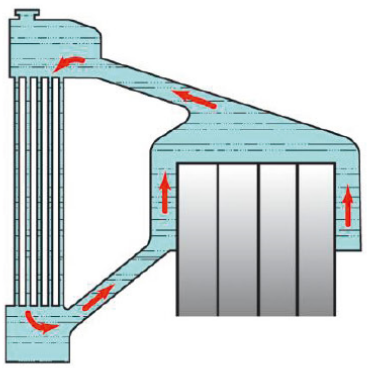


Figura 8.5. *Refrigeración por termosifón.*

La refrigeración por líquido puede realizarse de dos formas:

- **Por termosifón:** actualmente está en desuso. Se basa en las corrientes de convección que se producen en un fluido cuando experimenta una variación de temperatura. De esta forma, el agua caliente que está en contacto con los cilindros y la culata asciende de forma natural y entra por la parte superior del radiador, disminuyendo su temperatura y descendiendo también de forma natural por

© Ediciones Paraninfo

aumentar su densidad. Después vuelve a entrar en el motor y se repite el ciclo, representado en la Figura 8.5. Este sistema tiene la ventaja de regular la temperatura del motor de forma automática pero el inconveniente de que la velocidad de movimiento del agua es reducida, es necesaria una elevada cantidad de agua y obliga al uso de radiadores de gran tamaño. Aunque los fabricantes han desestimado el uso de este método, el fenómeno natural de la convección hace que todos los circuitos de refrigeración funcionen, en parte, de esta forma.

- **Forzada por bomba y presurizada:** en este caso, la circulación del líquido refrigerante es forzada por el movimiento de una bomba que es accionada por el motor, como puede verse en la Figura 8.6. Con este sistema, aumenta la velocidad del líquido y con ella la transferencia de calor, pudiéndose utilizar radiadores más pequeños y menores cantidades de refrigerante. Además, el circuito se presuriza, es decir, que en su interior se alcanza una presión superior a la atmosférica. Esto se hace para aumentar la temperatura de ebullición del líquido refrigerante. Como ejemplo, si se supone que se emplea agua pura, aunque en realidad el líquido de refrigeración tiene otros componentes, esta ebulle a 100 °C cuando se encuentra a la presión de 1 bar, pero si se incrementa la presión, también lo hace su temperatura de ebullición. El objetivo es que el refrigerante se mantenga líquido a la temperatura de funcionamiento del motor. Para que la presión del circuito no alcance valores peligrosos, se disponen válvulas de alivio. El sistema de refrigeración por bomba y presurizado es el que se emplea de forma mayoritaria en los vehículos automóviles.

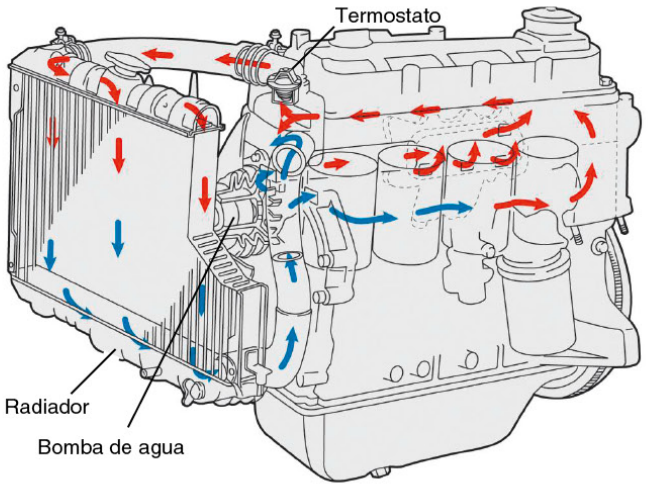
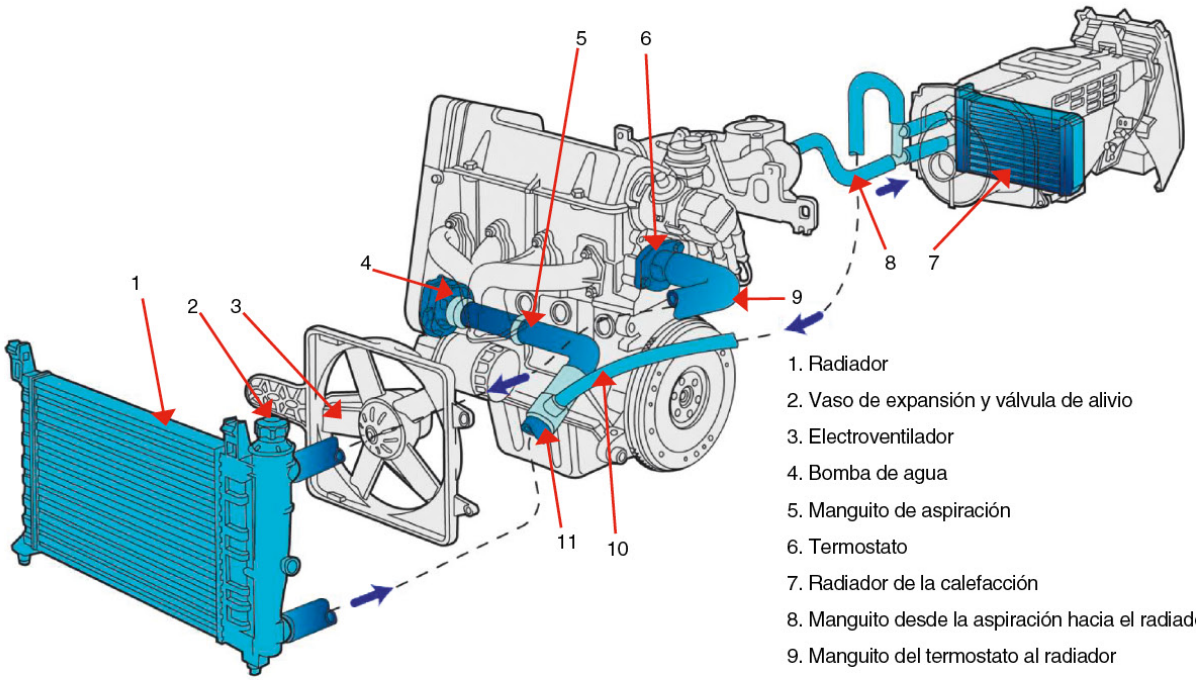


Figura 8.6. *Refrigeración por bomba y presurizada.*

La Figura 8.7 muestra un ejemplo de sistema de refrigeración forzada por bomba y presurizado. Se pueden



1. Radiador
2. Vaso de expansión y válvula de alivio
3. Electroventilador
4. Bomba de agua
5. Manguito de aspiración
6. Termostato
7. Radiador de la calefacción
8. Manguito desde la aspiración hacia el radiador de la calefacción
9. Manguito del termostato al radiador
10. Manguito del radiador de la calefacción a la aspiración
11. Manguito del radiador a la aspiración

Figura 8.7. *Ejemplo de sistema de refrigeración forzada por bomba y presurizado.*

© Ediciones Paraninfo

apreciar los diferentes elementos del circuito, que pueden variar en función del tipo de motor y equipamiento, como por ejemplo si incorpora turbocompresor refrigerado por agua o sistema de cambio automático, siendo necesario enfriar el aceite en este último caso.

Las ventajas e inconvenientes de la refrigeración por agua son:

- **Ventajas:**
  - Mayor control sobre la temperatura de funcionamiento del motor en cualquier circunstancia.
  - Menor juego de montaje entre piezas, al tener mejor controlada la temperatura de régimen.
  - Reducción del ruido del motor al ser amortiguado por las camisas de agua alrededor de los cilindros.
- **Inconvenientes:**
  - Sistema complejo que aumenta el riesgo de averías e introduce la necesidad de mantenimiento.
  - Incremento del volumen y peso del motor.
  - Mayores costes de fabricación.

8.3. Elementos del sistema de refrigeración por líquido refrigerante

Dado que el sistema de refrigeración por líquido y presurizado es el más empleado en motores de automoción, a continuación se van a explicar detalladamente los principales elementos que lo componen.

8.3.1. El líquido refrigerante

Al líquido refrigerante se le suele llamar anticongelante, ya que es una base de agua con otro elemento que ayuda a disminuir el punto de congelación de la misma, además de otros aditivos que mejoran las propiedades del líquido y protegen al circuito.

El agua posee buenas propiedades refrigerantes por tener un elevado calor específico y buena conductibilidad térmica, pero tiene los siguientes inconvenientes:

- Se congela a 0 °C, pasando a estado sólido.
- Al congelarse aumenta su volumen entre un 8 y un 10 %, pudiendo producir grietas en los conductos.
- Ataca químicamente a los metales.

Un anticongelante debe cumplir los siguientes requisitos:

- Temperatura de congelación baja y de ebullición alta.
- Propiedades anticorrosivas y capacidad de neutralizar posibles sustancias ácidas.
- Actuar como desincrustante.
- Poseer cualidades antiespumantes.
- Buena conductividad térmica para poder transmitir el calor rápidamente.
- Compatibilidad con elastómeros, al ser materiales empleados en manguitos y juntas.
- Reducida viscosidad.
- Mínima toxicidad.

Recuerda que...

El descenso crioscópico (reducción de la temperatura de congelación) y el aumento ebulloscópico (incremento de la temperatura de ebullición) se consigue por dos motivos:

- Presurización del circuito.
- Utilización de etilenglicol mezclado con el agua.

Para rebajar el punto de congelación del agua se pueden emplear diferentes sustancias solubles en ella, como cloruro cálcico, alcohol metílico, alcohol etílico, glicerina... Actualmente, el anticongelante se compone principalmente de una mezcla de agua y de glicol etilénico (etilenglicol). En función de la proporción de mezcla de ambos elementos se pueden obtener distintas temperaturas de congelación del líquido, así como de ebullición. La Figura 8.8 muestra la variación de la temperatura de congelación y ebullición del anticongelante en función de la proporción de mezcla de agua y etilenglicol. Puede observarse que si la mezcla está formada por un 60 % de etilenglicol, el punto de congelación del anticongelante desciende hasta casi −50 °C y la temperatura de ebullición asciende hasta casi los 115 °C. Como puede deducirse, el etilenglicol por sí solo no tiene un punto de congelación demasiado bajo, ya que se sitúa en torno a los −13 °C.

Las propiedades anticorrosivas se obtienen añadiendo sustancias como benzoato sódico, bórax, fosfatos alcalinos… Estos aditivos constituyen lo que se conoce como reserva alcalina, es decir, que tienen cierta capacidad para neutralizar compuestos ácidos que pueden degradar el anticongelante. En algunos motores, los aditivos anticorrosivos adquieren mayor importancia para evitar el fenómeno de la cavitación, que es la corrosión producida por la formación de capas gaseosas sobre superficies metálicas, que las aíslan del contacto con el líquido refrigerante. Estos aditivos recubren

© Ediciones Paraninfo

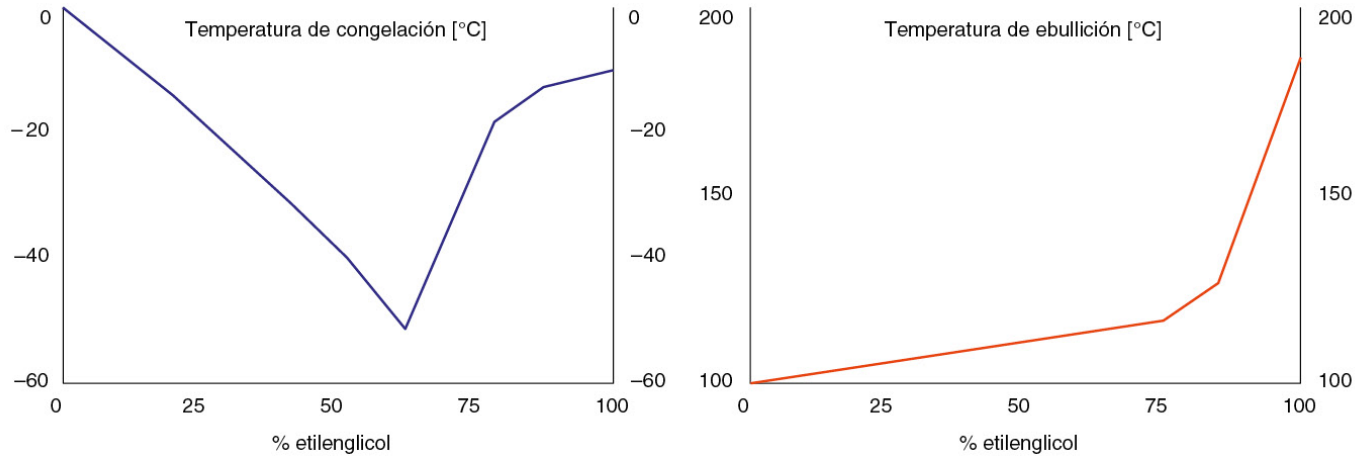


Figura 8.8. *Variación de la temperatura de congelación y ebullición de la mezcla en función del porcentaje de etilenglicol presente en la mezcla.*

las superficies metálicas. El fenómeno de la cavitación se da en las paredes de los cilindros por alcanzar temperaturas elevadas, haciendo que el líquido entre en ebullición en esa zona, formando burbujas de vapor. La capa de vapor adherida a la superficie metálica impide que el resto del líquido entre en contacto con ella, aumentando aún más la temperatura y con ella la capa de vapor, destruyendo el metal.

La capacidad antiincrustante se consigue mezclando sustancias quelantes, que forman complejos, impidiendo la deposición de sales. Esto mejora el intercambio de calor y puede provocar el desprendimiento de depósitos ya producidos, por lo que ayuda a limpiar los conductos.

Para evitar la formación de espumas se introducen aditivos antiespumantes como siliconas o alcoholes, que aumentan la tensión superficial del líquido, es decir, ayudan a mantener la cohesión de las moléculas.

En cuanto a la conductividad térmica, al añadir anticongelante al agua, disminuye, necesitando alcanzar una temperatura más alta para transferir la misma cantidad de calor que con agua pura. Esto se ve compensado por el aumento de la temperatura de ebullición.

8.3.2. La bomba de agua

La bomba de agua tiene la función de forzar la circulación del líquido refrigerante. Son bombas centrífugas para impulsar grandes caudales de agua a poca presión. El movimiento de la bomba se realiza por transmisión de correa, como la de distribución o la de accesorios, accionada por el motor con la relación de transmisión correspondiente. El caudal suministrado es proporcional al régimen de giro del motor, ya que a pocas revoluciones no se necesita tanta refrigeración como a altas, intensificándose en estas condiciones.

La Figura 8.9 muestra un ejemplo de bomba de agua, donde puede verse la entrada de agua del radiador o lado de aspiración y la salida o lado de impulsión. La entrada de agua se produce hacia el centro de la bomba, donde es centrifugada y enviada a la periferia, por lo que la salida se dispone de forma tangencial. El rodete suele estar descentrado con respecto al cuerpo, con el fin de facilitar el trasvase de agua hacia la salida. Además, al haber una cierta distancia entre el rodete y el cuerpo, es posible una pequeña circulación de agua por termosifón con el motor parado o en caso de avería de la bomba.

Los álabes se disponen separados a la misma distancia y en función de su orientación se puede generar una mayor o menor presión. En general, se inclinan hacia atrás en el sentido de la rotación, según la Figura 8.10, para que la bomba genere poca presión. Si se inclinaran hacia delante en el sentido de la rotación generaría alta presión. El diseño de los álabes, el diámetro del rodete y la relación de transmisión con el cigüeñal dependerá del tipo de motor, cilindrada, pérdidas de carga del circuito…

El rodete de la bomba puede ser metálico, como el de la Figura 8.9, o de plástico, como el de la Figura 8.11.

Para asegurar la estanqueidad de la bomba se monta una empaquetadura, que contiene un retén autolubricado que se apoya contra el cuerpo de la bomba gracias a la presión de un muelle, interponiendo entre ambos una junta de caucho, según muestra la Figura 8.12.

En muchos motores modernos, para evitar pérdidas de rendimiento, se instalan bombas que se adaptan a las condiciones de funcionamiento del motor. Son bombas centrífugas movidas por un motor eléctrico de unos 200 W como máximo. La potencia del motor eléctrico es regulada por la unidad de control de la bomba. La unidad de control del motor,

© Ediciones Paraninfo

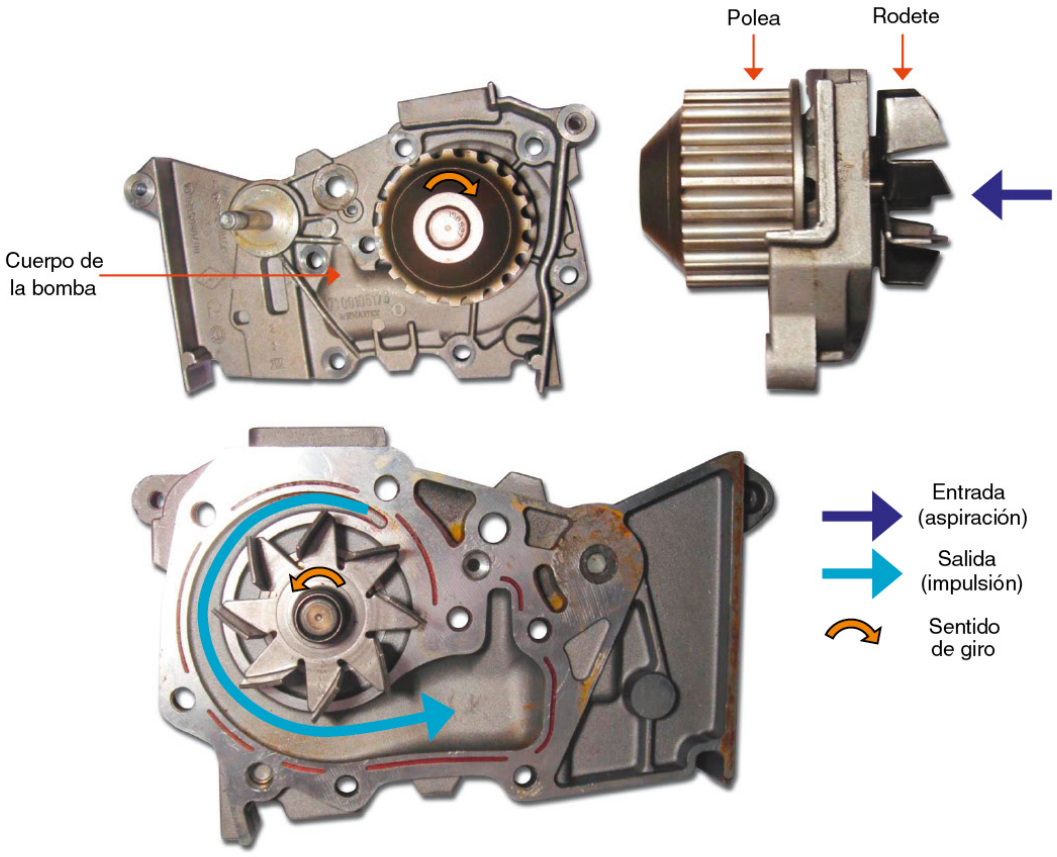


Figura 8.9. *Bomba de agua.*

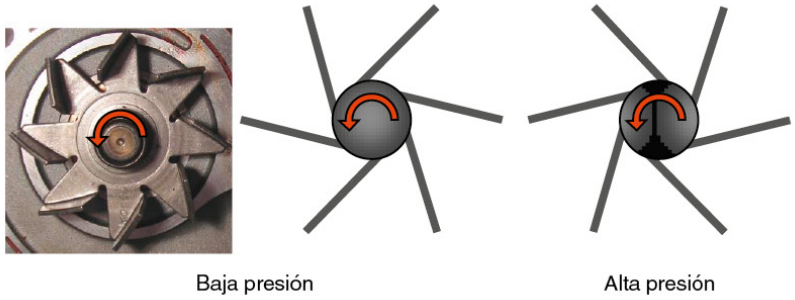


Figura 8.10. *Variación de la presión generada por la bomba en función de la orientación de los álabes.*

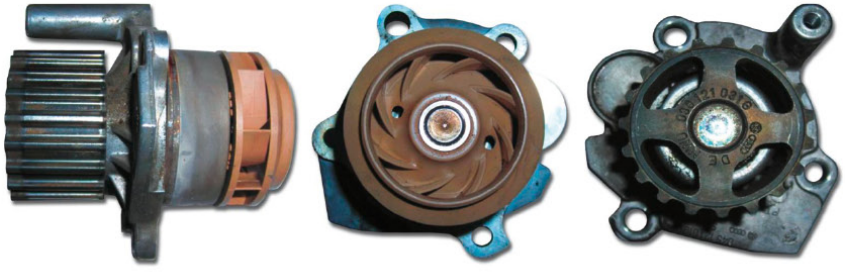


Figura 8.11. *Bomba de agua con rodete de plástico.*

© Ediciones Paraninfo

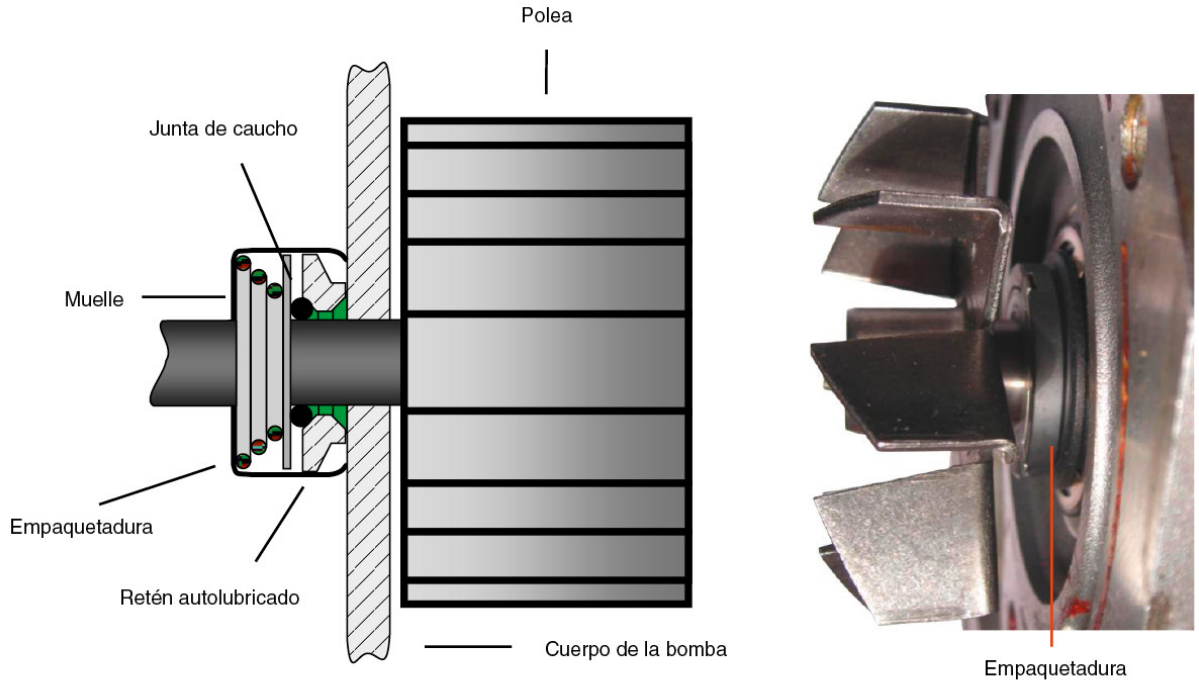


Figura 8.12. *Empaquetadura de estanqueidad de la bomba.*

en función de la carga, parámetros de funcionamiento y temperatura, determina la potencia refrigerante necesaria y da la orden correspondiente a la unidad de control de la bomba. El refrigerante atraviesa el motor eléctrico, refrigerando el motor y el módulo electrónico. Los rodamientos se lubrican con el líquido refrigerante. Hay que prestar atención en caso de montaje y desmontaje, para que la bomba no funcione en seco, debiéndose almacenar llena de líquido refrigerante con el fin de que los cojinetes no se queden pegados. La Figura 8.13 muestra una sección de este tipo de bombas.

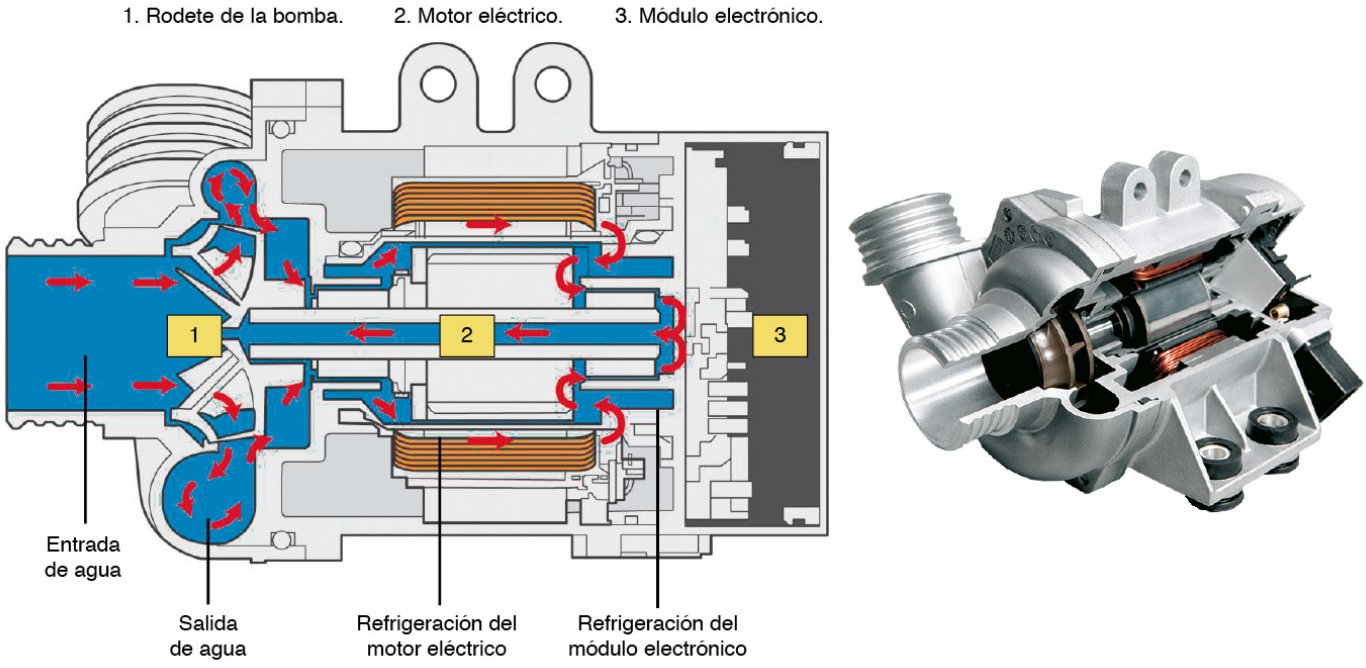


Figura 8.13. *Bomba de agua de accionamiento eléctrico y regulación variable según las condiciones de funcionamiento del motor.*

© Ediciones Paraninfo

8.3.3. El radiador

El radiador es el encargado de transferir el calor del líquido refrigerante al aire. Normalmente se sitúa en la parte delantera del vehículo para que reciba directamente el aire de la marcha y se fija a la carrocería mediante uniones elásticas con el fin de no transmitirle vibraciones. La entrada y salida de líquido del radiador al motor se realiza mediante manguitos de caucho flexibles para absorber los movimientos basculantes del motor en aceleraciones y deceleraciones.

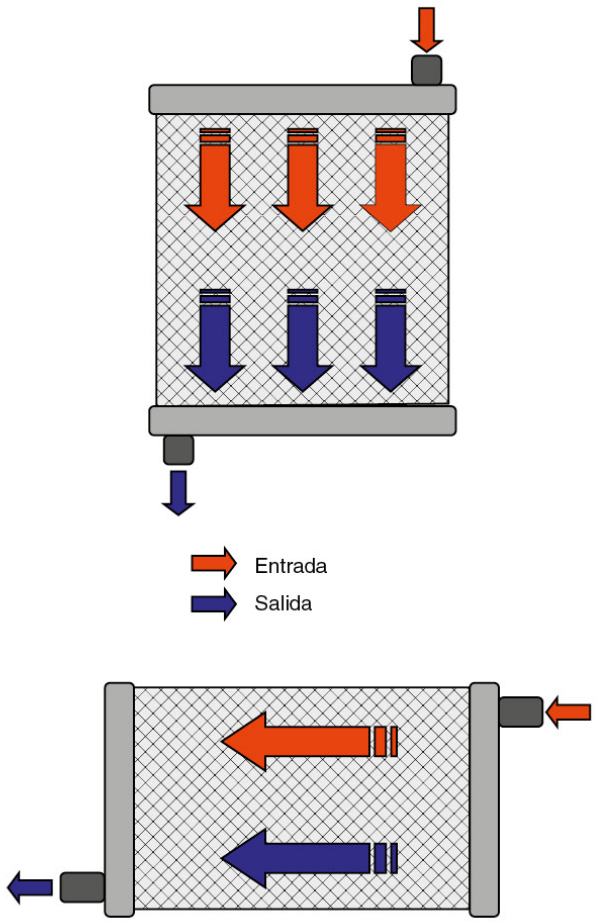


Figura 8.14. *Radiador de flujo vertical (arriba) y de flujo transversal (abajo).*

Existen dos tipos principales de radiadores, como muestra la Figura 8.14:

- **De flujo vertical:** en este tipo de radiador el líquido circula de forma vertical, por lo que se dispone de un depósito superior y otro inferior conectado con la salida al motor.
- **De flujo transversal:** en este caso el líquido circula de forma horizontal por lo que los depósitos van instalados a los lados. La ventaja de este sistema es que permite reducir la altura del radiador, permitiendo bajar la altura de la parte delantera del vehículo, favoreciendo la aerodinámica.

Para mejorar la transferencia de calor es necesario maximizar la superficie de contacto entre el líquido refrigerante y el aire. Para ello, el intercambiador puede tener dos configuraciones:

- **Tubular:** el agua circula por tubos de sección alargada alrededor de los cuales se disponen aletas, normalmente soldadas, de forma que aumenta la superficie de contacto cuando las atraviesa el aire. La Figura 8.15 muestra esta disposición para un radiador de flujo vertical.

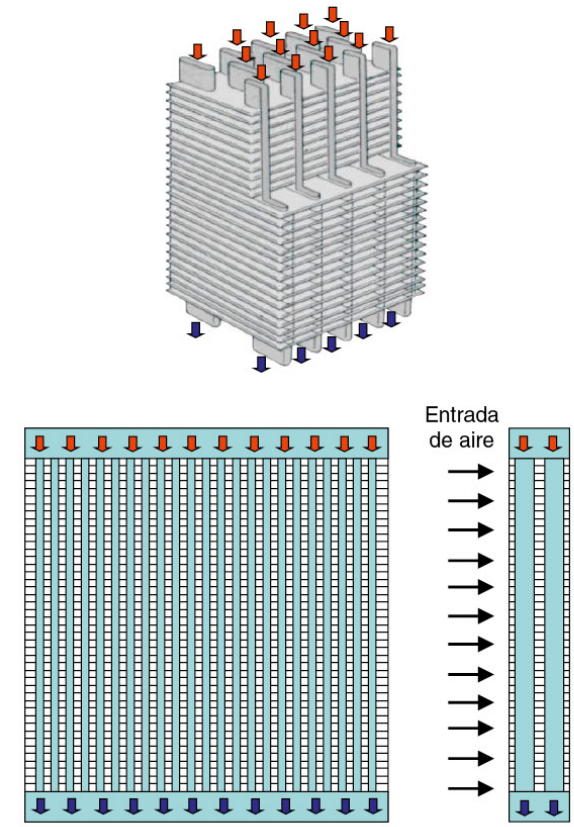


Figura 8.15. *Intercambiador de calor tubular en un radiador de flujo vertical.*

- **De panal:** en este caso, el aire circula a través de unos tubos de sección hexagonal y refrigera el líquido que está en contacto con los mismos. Esta configuración tiene mayor capacidad refrigerante, pero al aumentar el número de soldaduras aumenta el coste de fabricación. Esta configuración puede observarse en la Figura 8.16, tomando como ejemplo un radiador de flujo vertical.

Actualmente, los materiales empleados para la fabricación del intercambiador de calor suelen ser acero o aluminio, siendo este último el que tiene mayor conductividad térmica. Para los depósitos del radiador está muy extendida la fabricación en plástico, con el fin de reducir los costes de fabricación.

© Ediciones Paraninfo

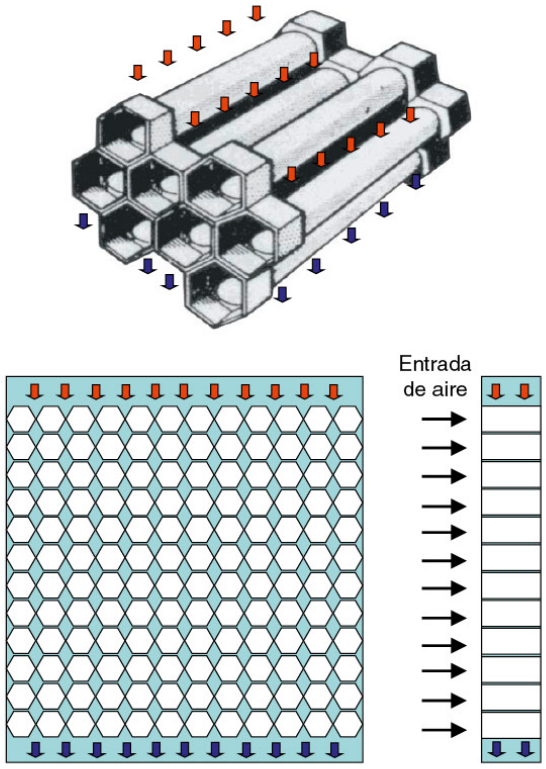


Figura 8.16. *Intercambiador de calor de panal en un radiador de flujo vertical.*

8.3.4. El termostato

El termostato es el elemento encargado de regular la temperatura de funcionamiento del motor. Actúa como una válvula que controla el paso del líquido refrigerante entre el motor y el radiador. De esta forma, con el motor frío, el líquido no pasa por el radiador para que el motor alcance cuanto antes la temperatura de régimen. Cuando el líquido alcanza una determinada temperatura, el termostato permite el paso del mismo por el radiador para su enfriamiento.

El termostato más comúnmente utilizado es el de cápsula de cera, como el que representa la Figura 8.17. La cápsula está en contacto con el líquido refrigerante, en el lado del motor, y su interior está lleno de cera, que tiene un coeficiente de dilatación elevado. Cuando el motor alcanza cierta temperatura, la cera se dilata y empuja el vástago. Como el vástago está unido a la válvula, esta abre venciendo la fuerza del muelle y el líquido pasa hacia el radiador. Cuando el motor se enfría, la cera se contrae y el muelle ayuda al cierre de la válvula, no permitiendo el paso de líquido hacia el radiador, como muestra el esquema de la Figura 8.18. En muchas ocasiones, el termostato incorpora un purgador de funcionamiento automático que permite la evacuación de bolsas de aire.

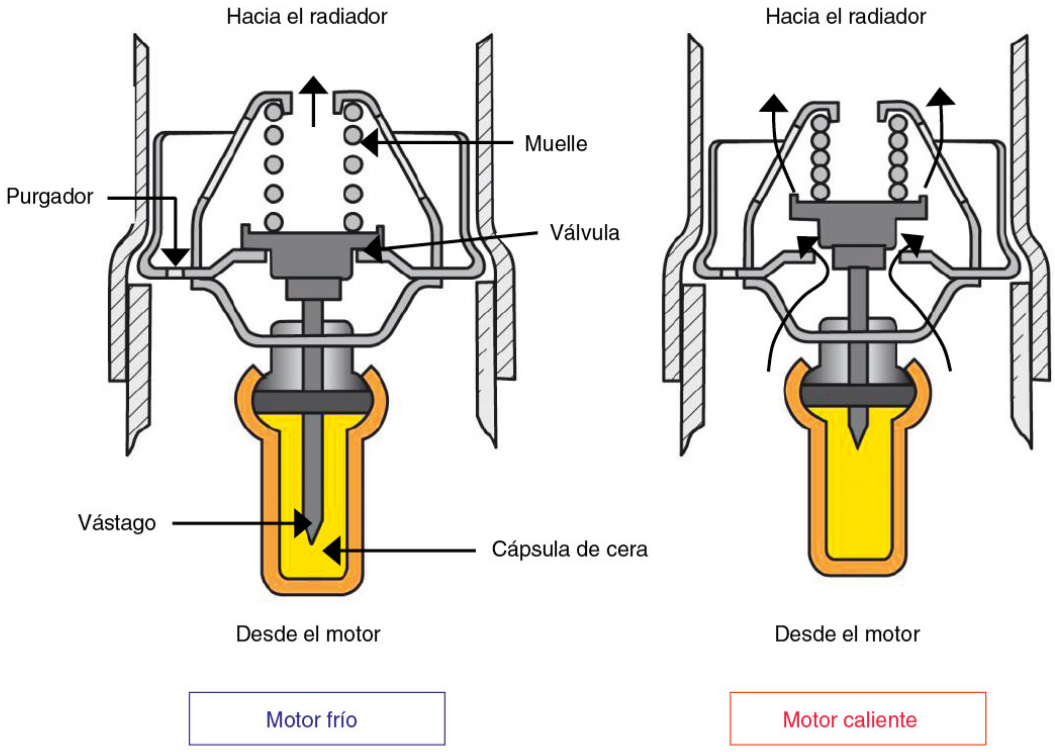


Figura 8.17. *Funcionamiento del termostato de cápsula de cera.*

© Ediciones Paraninfo

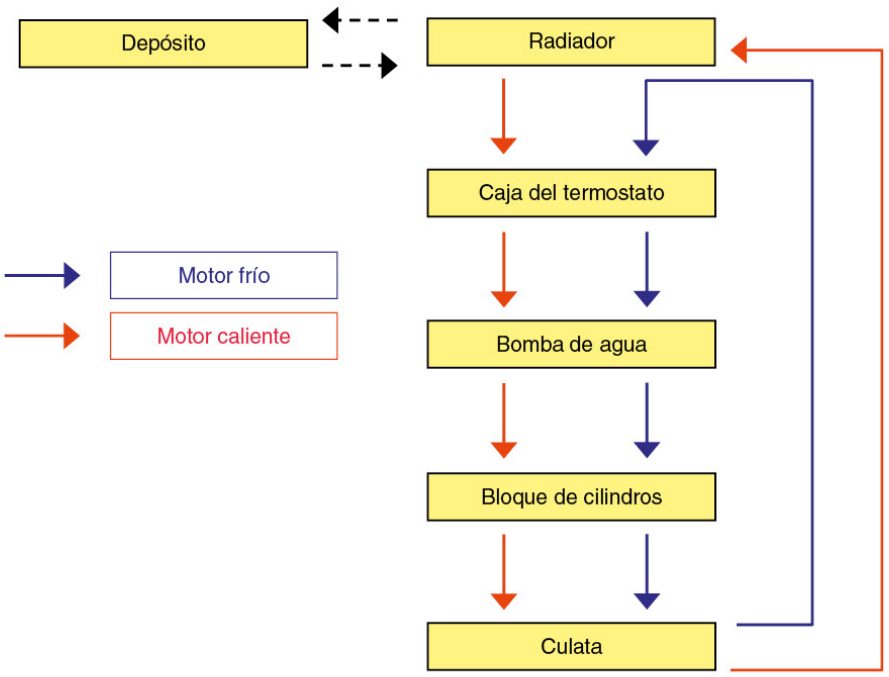


Figura 8.18. *Esquema del circuito de refrigeración con el termostato cerrado (motor frío) y abierto (motor caliente).*

El comienzo y fin de la apertura del termostato depende del tipo de motor y del clima del país donde va a circular el vehículo. Los valores más usuales son entre 80 y 85 °C para el inicio de la apertura y entre 90 y 95 °C para el fin de la misma, con una carrera del vástago de la válvula de entre 7 y 10 mm. La Figura 8.19 muestra un ejemplo de caja del termostato y termostato.

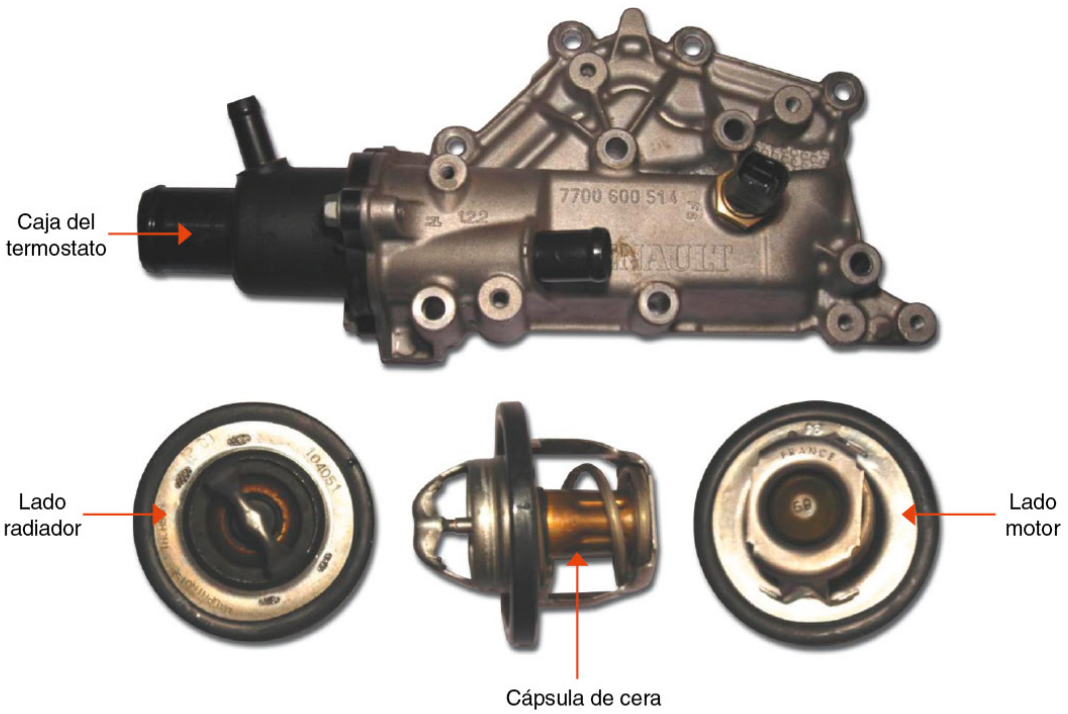


Figura 8.19. *Ejemplo de termostato y caja del termostato.*

© Ediciones Paraninfo

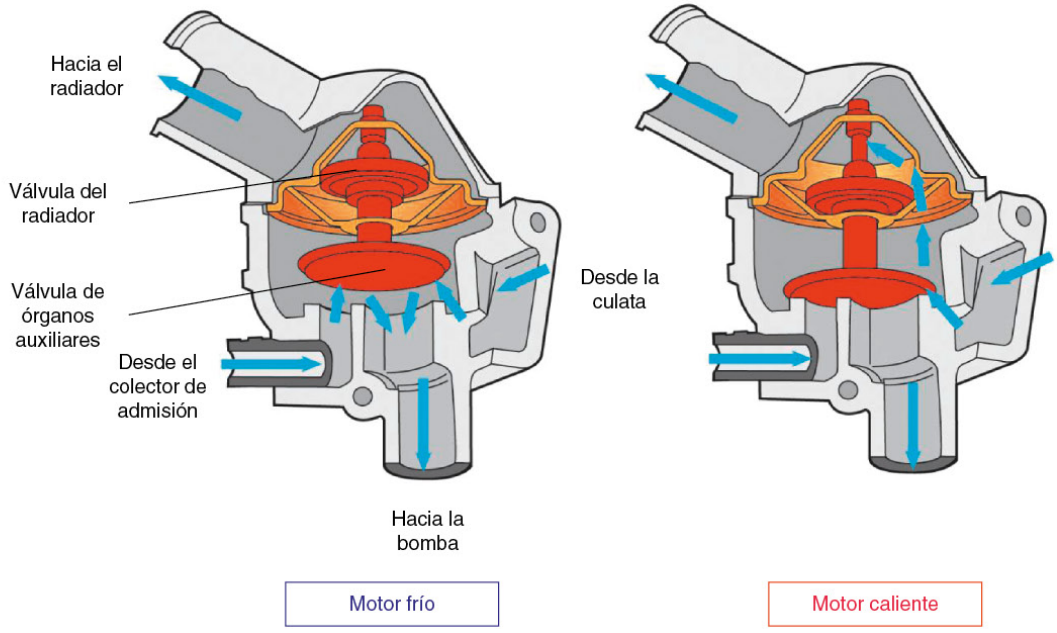


Figura 8.20. *Ejemplo de termostato de doble efecto.*

En ciertos motores se pueden encontrar termostatos de doble válvula o también llamados de doble efecto, como el mostrado en la Figura 8.20. El objetivo de estos termostatos es que, además de permitir el paso o no del líquido al radiador en función de si el motor está caliente o frío, controlan la temperatura de otros sistemas auxiliares. Por ejemplo, los motores con carburador o inyección monopunto, en frío son propensos a condensar el combustible en las paredes del colector de admisión, por lo que interesa calentar este lo antes posible mediante la circulación del líquido de refrigeración. En caliente ya no interesa su refrigeración por lo que es necesario algún sistema que controle el paso del líquido dependiendo de la temperatura. De esta forma, el vástago del termostato mueve dos válvulas. Cuando el motor está frío, permanece cerrada la válvula de paso al radiador y abierta la de circulación hacia determinados elementos auxiliares. En caliente se abre la válvula de paso al radiador y cierra la de circulación hacia el colector de admisión, por ejemplo.

En algunos motores modernos se dispone de un sistema de refrigeración con doble circuito, en el cual el líquido refrigerante es conducido por separado a diferentes temperaturas a través del bloque y la culata, con dos termostatos, uno para el bloque y otro para la culata, como puede verse en la Figura 8.21. El sistema de refrigeración se divide de la siguiente forma: una tercera parte del líquido circula hacia los cilindros y dos terceras partes hacia la culata.

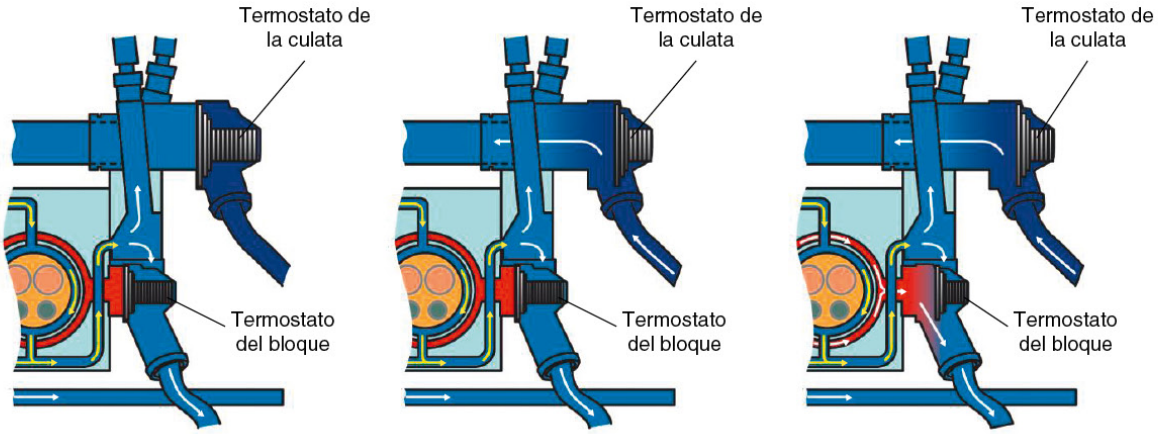
Las ventajas que se consiguen con este sistema son las siguientes:

- El bloque se calienta más rápido.
- Las cámaras de combustión se refrigeran mejor, al disminuir la temperatura de funcionamiento de la culata. Esto implica un mejor llenado del cilindro y una reducción de la tendencia al picado de biela.

Actualmente, cada vez son más los motores que montan un termostato regulado electrónicamente como el de la Figura 8.22. Estos termostatos mejoran el rendimiento del motor, ya que funcionan dependiendo de las condiciones del mismo en cada momento. El termostato electrónico, cuyo principio de funcionamiento se basa en el termostato de doble efecto, puede adoptar posiciones intermedias de actuación, pero tiene dos modos de operación principales:

- **Durante la fase de calentamiento del motor y a cargas parciales:** en estas condiciones funciona como un termostato de cápsula de cera convencional, pero su tarado de apertura está comprendido entre los 95 y los 110 °C, mayor que los valores habituales. Esto se hace así porque las temperaturas elevadas a carga parcial proporcionan un mayor rendimiento, reduciendo el consumo y las emisiones contaminantes. En estas circunstancias, el líquido refrigerante fluye a través de un circuito corto sin pasar por el radiador, estando la válvula del segundo circuito abierta.
- **Por encima de cierta temperatura y a plena carga:** cuando el motor está a plena carga o se superan los 110 °C, la resistencia calefactora calienta aún más la cápsula de cera y el termostato abre la válvula del primer circuito, permitiendo el retorno del radiador, cerrando la del segundo circuito por estar acopladas mecánicamente, como en el termostato de doble efecto. De esta forma, se reduce

© Ediciones Paraninfo



Temperatura < 87 °C

Ambos termostatos están cerrados para un rápido calentamiento del motor. El líquido refrigerante circula por:

- Bomba de líquido refrigerante.
- Culata.
- Intercambiador de calor de la calefacción.
- Radiador de aceite (si lo lleva).
- Depósito de expansión.

Temperatura entre 87 y 105 °C

El termostato de la culata está abierto y el del bloque está cerrado. Se controla la temperatura en la culata a 87 °C y sigue aumentando en el bloque. El líquido refrigerante circula por:

- Bomba de líquido refrigerante.
- Culata.
- Intercambiador de calor de la calefacción.
- Radiador de aceite (si lo lleva).
- Depósito de expansión.
- Radiador.

Temperatura > 87 °C

Ambos termostatos están abiertos. La temperatura se regula en la culata a 87 °C y en el bloque a 105 °C. El líquido refrigerante circula por:

- Bomba de líquido refrigerante.
- Culata.
- Intercambiador de calor de la calefacción.
- Radiador de aceite (si lo lleva).
- Depósito de expansión.
- Radiador.
- Bloque.

Figura 8.21. *Sistema de refrigeración con doble circuito.*

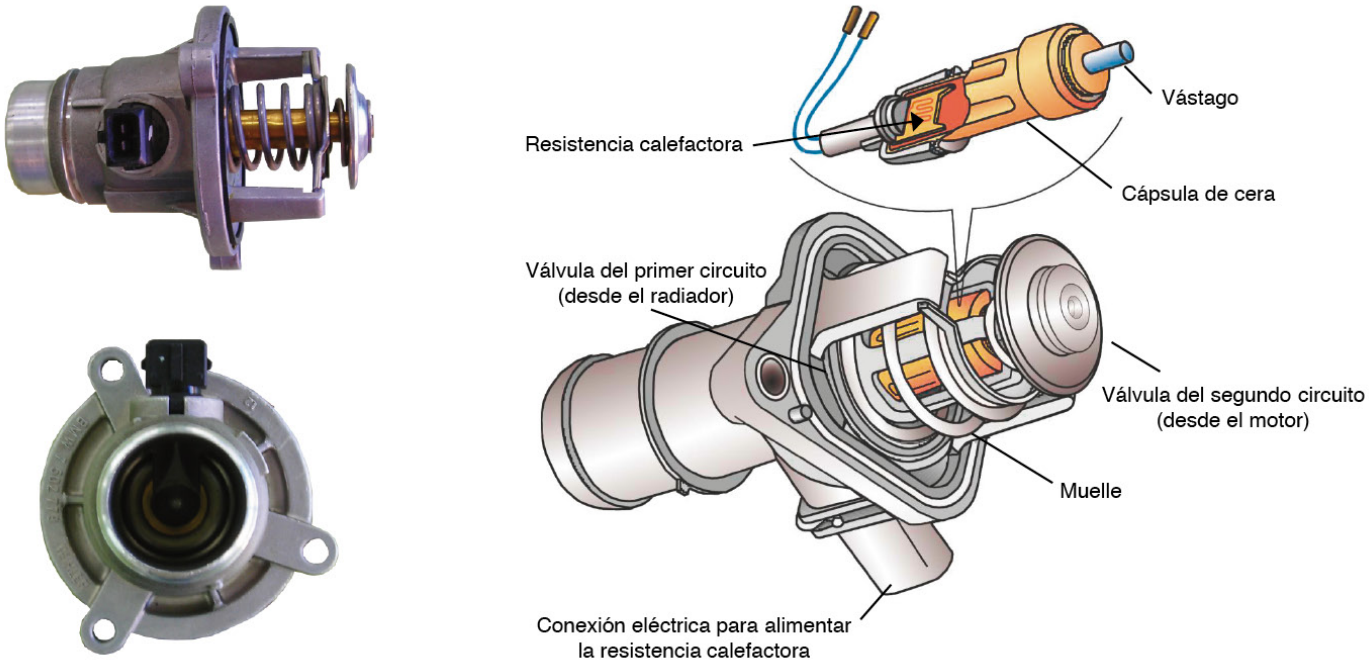


Figura 8.22. *Termostato regulado electrónicamente.*

© Ediciones Paraninfo

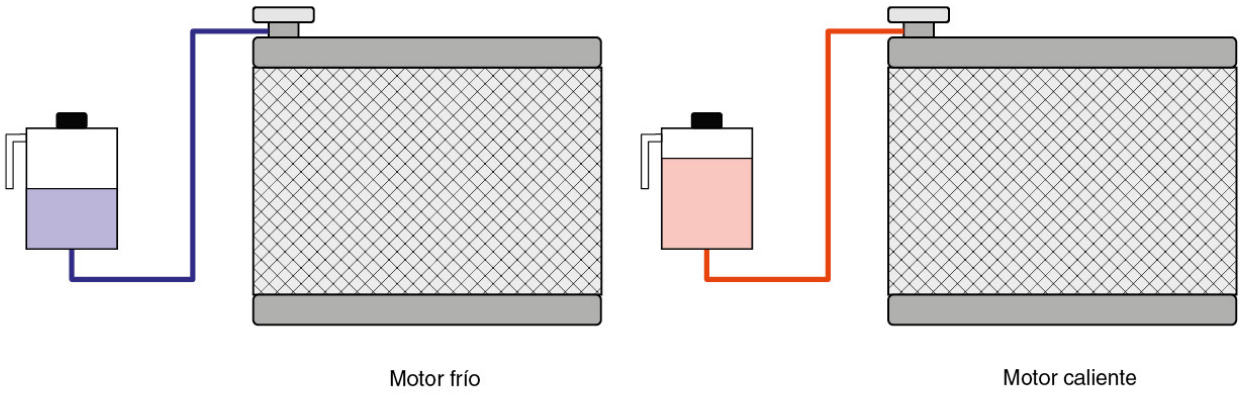


Figura 8.23. *Representación de la variación de volumen del líquido refrigerante en función de la temperatura.*

la temperatura de funcionamiento a plena carga a valores de entre 85 y 95 °C, aumentando el rendimiento en estas condiciones por disminuir la temperatura de la cámara de combustión y se mejora el llenado del cilindro.

8.3.5. El depósito de expansión

El depósito o vaso de expansión es el encargado de absorber el aumento de volumen de líquido refrigerante cuando el motor está caliente y la disminución del mismo cuando está frío, como representa la Figura 8.23.

El sistema de refrigeración es hermético, por lo que las variaciones de volumen, a pesar de tener vaso de expansión, podrían elevar la presión del circuito hasta valores peligrosos. Por eso se dispone de una válvula de sobrepresión que permite evacuar vapor con el fin de limitar la presión. Por otro lado, cuando el motor se enfría, se produce una depresión en el interior del circuito al disminuir el volumen del líquido refrigerante, debiendo recuperar el fluido necesario para mantener una presión mínima en el sistema, a través de una válvula de depresión. El tarado de la válvula de sobrepresión suele oscilar entre 0,8 y 1,5 bares, de forma que se aumenta el punto de ebullición del agua hasta casi 120 °C. La válvula de depresión abre cuando en el circuito hay una depresión de alrededor de 0,1 bar.

Las válvulas de sobrepresión y depresión suelen disponerse de manera conjunta siendo las más habituales las siguientes:

- **Válvula en el tapón del radiador:** como muestra la Figura 8.24, cuando el radiador alcanza cierta presión, abre la válvula de sobrepresión, venciendo la fuerza de su muelle, y el líquido pasa en formato vapor a la parte baja del vaso de expansión. Entra por la parte de debajo para que no se pierda refrigerante vaporizado al estar comunicada la parte superior del vaso con la atmósfera. Cuando el radiador se enfría, se abre la válvula de depresión, absorbiendo líquido del vaso de expansión.
- **Válvula en el tapón del vaso de expansión:** el líquido llega desde el radiador al vaso de expansión. Cuando se alcanza una cierta presión en el interior del vaso, la válvula de sobrepresión abre y permite la evacuación de aire al exterior, como indica la Figura 8.25. Cuando el fluido se enfría, disminuye su volumen y con él la presión, abriéndose la válvula de depresión, entrando aire del exterior hasta equilibrar las presiones.

8.3.6. El ventilador

El ventilador es un elemento que sirve para regular la temperatura de funcionamiento del motor. Su función es la de generar una corriente de aire que enfríe el radiador y parte del motor. Muchas veces, en función de la carga y de la velocidad del vehículo, el aire de la marcha no es suficiente para mantener una correcta temperatura del sistema de refrigeración, más aún cuando el vehículo está parado.

La ubicación del ventilador puede ser delante o detrás del radiador, teniendo en el primer caso una función soplante y en el segundo aspirante. Suele fabricarse en plástico, aunque en algunos motores industriales y de maquinaria puede ser de acero.

Fijando una velocidad de giro del ventilador, su caudal de aire aumentará según lo haga también su diámetro y dependerá del número y orientación de las palas. En ocasiones, el ventilador es rodeado por una carcasa que orienta convenientemente el flujo de aire, mejorando su eficacia.

Los ventiladores más habituales que se instalan en los vehículos pueden ser los siguientes:

Electroventilador

En este caso el ventilador es movido por un motor eléctrico, como muestra la Figura 8.26.

© Ediciones Paraninfo

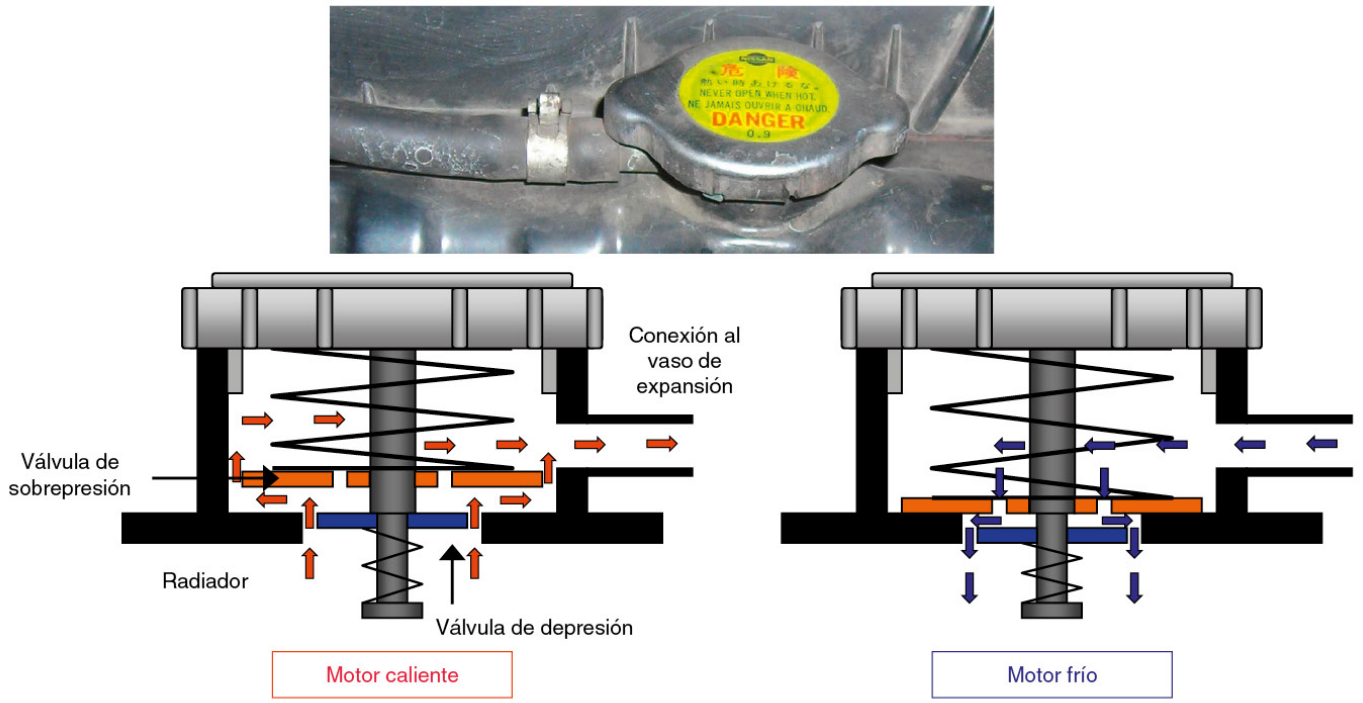


Figura 8.24. *Válvula en el tapón del radiador.*

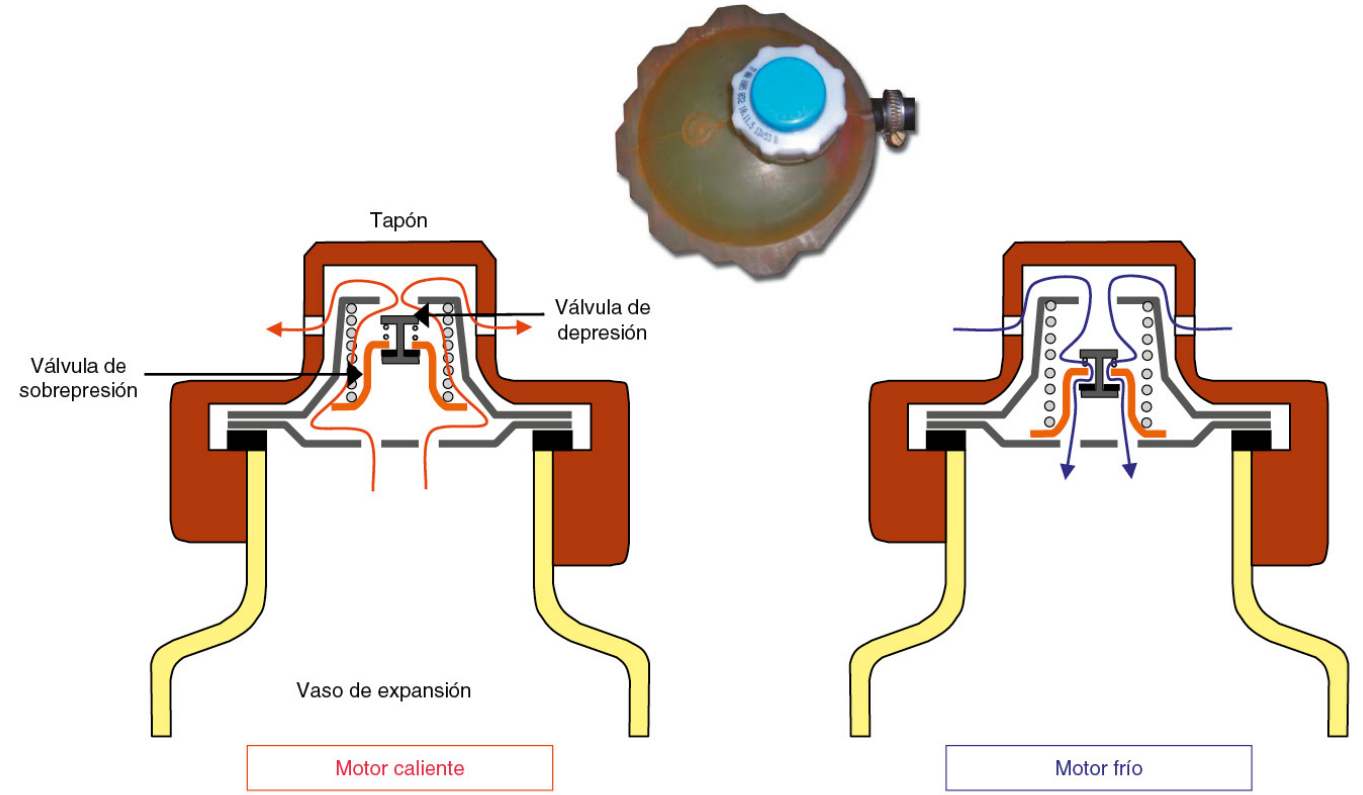


Figura 8.25. *Válvula en el tapón del vaso de expansión.*

© Ediciones Paraninfo

La puesta en funcionamiento del motor eléctrico es controlada por un termocontacto, como el que aparece en la Figura 8.27. En su interior se encuentra un disco bimetálico compuesto por dos metales con distintos coeficientes de dilatación térmica. La deformación del disco en función de la temperatura se aprovecha para desplazar un vástago que acciona los contactos de plata, logrando de esta manera la conexión y desconexión a masa, cerrando o abriendo el circuito eléctrico. Normalmente cierra el circuito, poniendo en marcha el motor eléctrico, a una temperatura de entre 90 y 100 °C, abriéndolo y parando el motor entre 80 y 90 °C. El termocontacto se monta roscado en el depósito de salida del radiador y su parte inferior está en contacto directo con el líquido refrigerante. Muchos motores modernos utilizan la sonda de temperatura del refrigerante para enviar valores a la unidad de control del motor, dando esta última la orden de puesta en marcha del electroventilador.

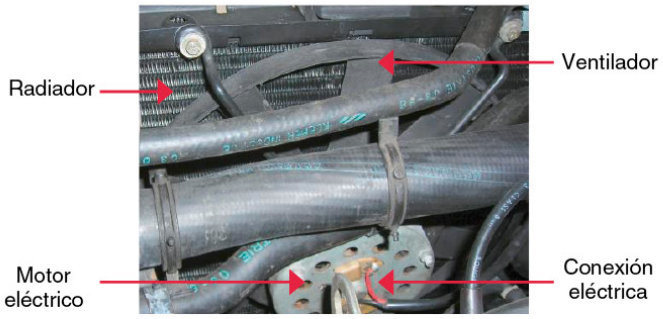


Figura 8.26. *Electroventilador.*

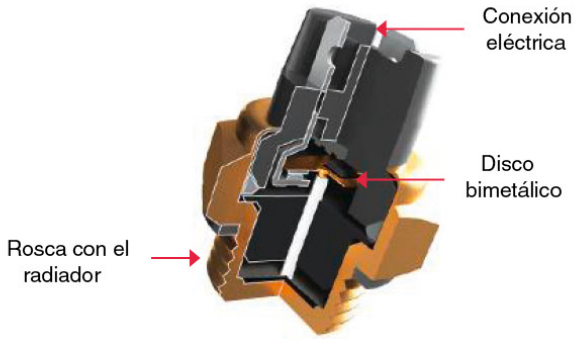


Figura 8.27. *Termocontacto.*

El circuito eléctrico del sistema de electroventilador de una sola velocidad controlado por termocontacto sería el que representa la Figura 8.28. Como el motor eléctrico necesita una potencia elevada, es necesario alimentarlo a través de un relé, pudiendo tomar la tensión de alimentación después del contacto o directamente de la batería. El circuito es protegido por un fusible.

Si el vehículo incorpora aire acondicionado, el sistema que regula dicho circuito pone también en funcionamiento el electroventilador en determinadas condiciones.

Al sistema de ventilador con una sola velocidad se le pueden añadir las mejoras siguientes:

- **Dos velocidades:** para conseguir que el electroventilador tenga dos velocidades de giro en función de la temperatura del refrigerante se instala un termocontacto con dos discos bimetálicos, tarados para temperaturas diferentes. Primero se acciona el primer disco y la intensidad de corriente pasa primero a través de una resistencia disipativa, provocando una caída de tensión, que hace que el ventilador gire a una velocidad lenta. Cuando se eleva la temperatura, el segundo disco cierra los contactos y la intensidad de corriente alimenta al motor directamente de la batería, haciendo que el ventilador gire a una velocidad rápida.
- **Control electrónico:** muchos sistemas de refrigeración modernos tienen electroventiladores controlados electrónicamente. Con esto se consigue optimizar el rendimiento del motor en cualquier condición de funcionamiento del motor. Los sistemas más sofisticados consiguen una regulación progresiva de la velocidad.

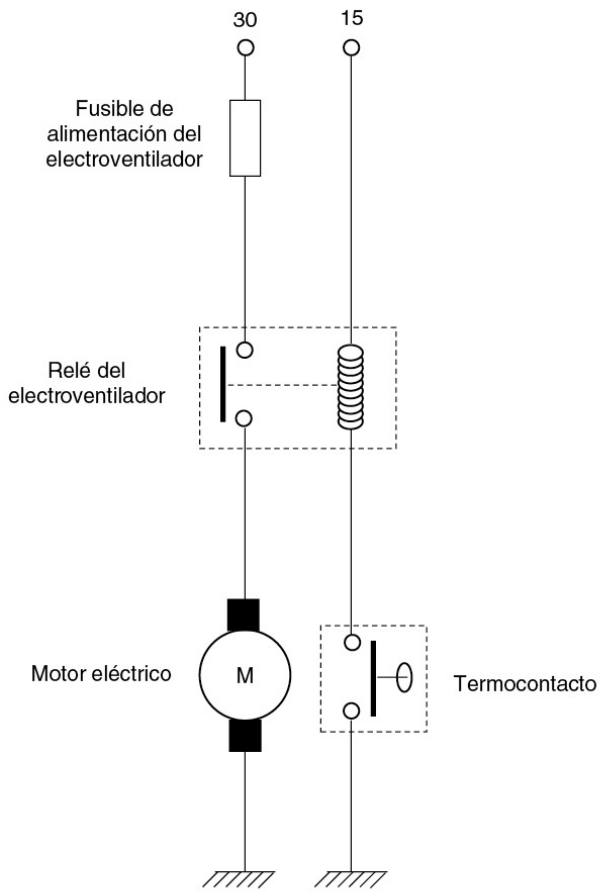


Figura 8.28. *Esquema eléctrico de funcionamiento del electroventilador de una sola velocidad controlado por termocontacto.*

© Ediciones Paraninfo

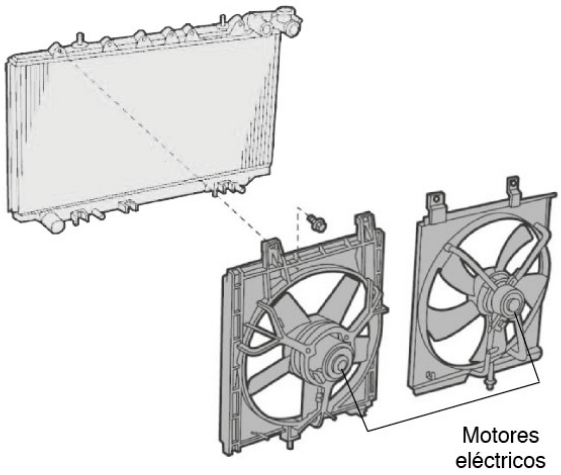


Figura 8.29. *Sistema con doble ventilador.*

Muchas veces se instala un doble electroventilador, como el de la Figura 8.29, para aprovechar la superficie disponible y aumentar el flujo de aire. Los sistemas de control de su puesta en marcha son similares a los de un único electroventilador, pero además pueden ser:

- **De puesta en marcha escalonada:** en este caso, primero se activa un electroventilador y después otro, dependiendo de las condiciones de funcionamiento del motor y del sistema de climatización.
- **Unidos por correa:** con esta disposición, un motor eléctrico hace girar un ventilador. El otro ventilador es arrastrado por el primero a través de una correa.

Ventilador de acoplamiento viscoso

En muchos vehículos con motor longitudinal se emplea un ventilador de acoplamiento viscoso. La correa que mueve la bomba de agua mueve a su vez el ventilador interponiendo en la cadena cinemática un mecanismo de acoplamiento viscoso (silicona) que variará la velocidad del ventilador en función de la temperatura del motor. La Figura 8.30 muestra el aspecto exterior de este sistema.

El conjunto del acoplamiento viscoso se divide en dos partes, la carcasa exterior y la carcasa interior.

La carcasa exterior, mostrada en la Figura 8.31, tiene en su parte externa un resorte bimetálico que está en contacto con el aire que atraviesa el radiador. Además, contiene un depósito de silicona de forma toroidal. En su parte interna se aloja, tras una placa de separación, una lámina obturadora que es movida por el resorte bimetálico al aumentar la temperatura del aire, descubriendo el orificio de salida de silicona del depósito. Por último, se disponen un par de orificios de retorno de la silicona al depósito.

La carcasa interior, según la Figura 8.32, sirve de alojamiento al rotor y se une atornillada a la carcasa exterior, girando libremente sobre el eje de la bomba gracias a un rodamiento. El rotor gira solidario al eje de la bomba de agua. El rotor tiene unos orificios centrales de entrada de la silicona y otros exteriores de salida de la misma al retorno y de ahí al depósito. La silicona sirve de medio de acoplamiento entre el rotor y la carcasa interior.

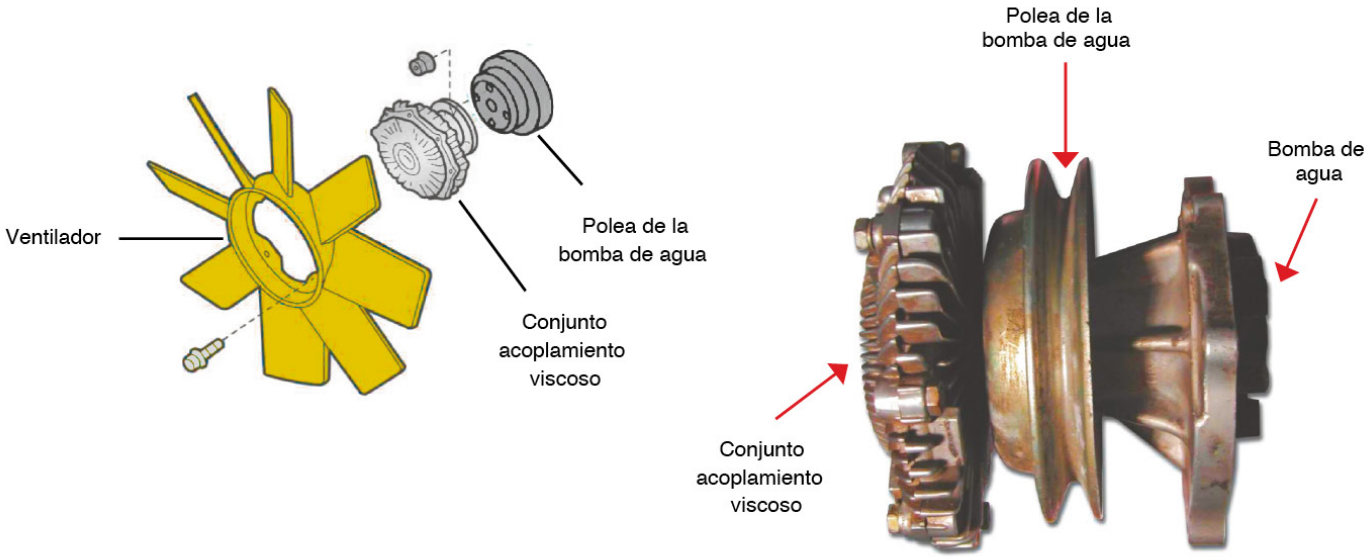


Figura 8.30. *Aspecto exterior del ventilador de acoplamiento viscoso.*

© Ediciones Paraninfo

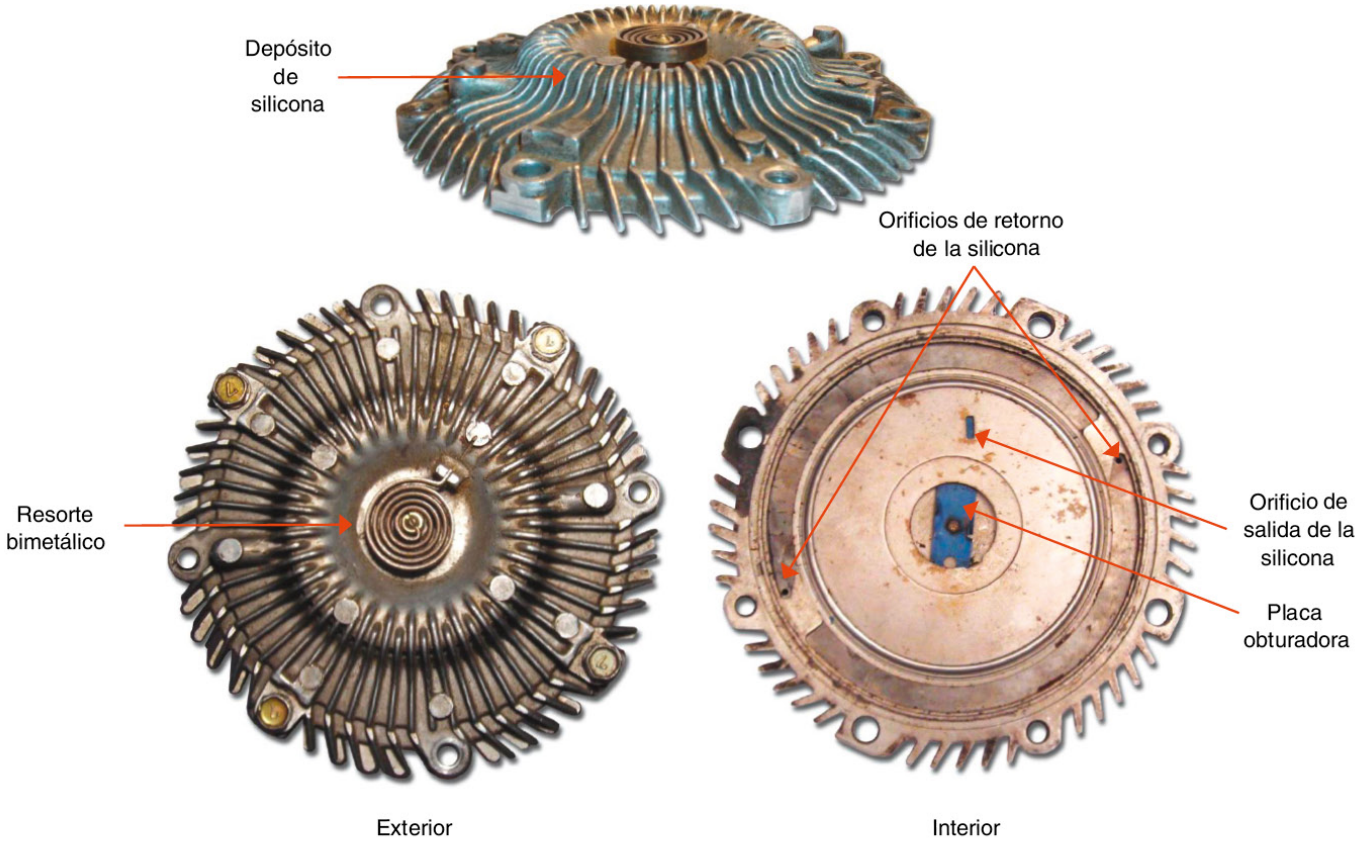


Figura 8.31. *Carcasa exterior del acoplamiento viscoso.*

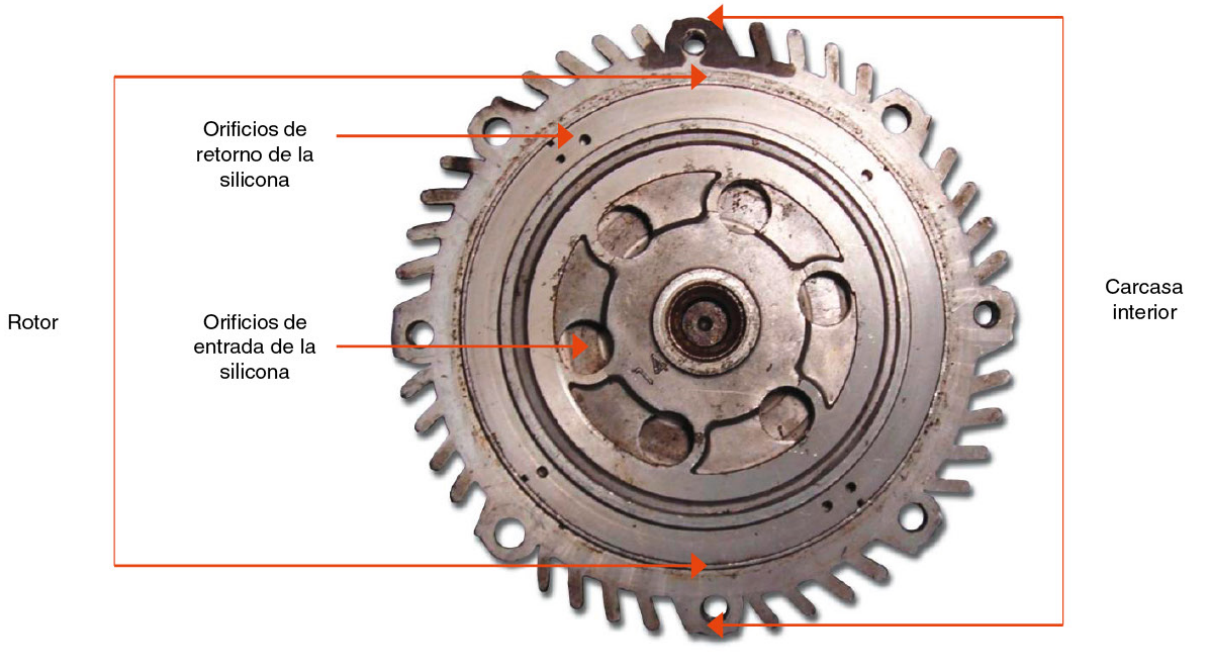
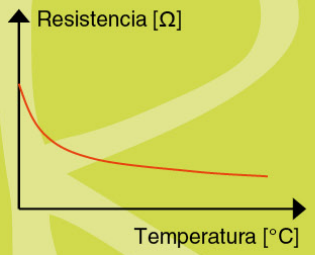


Figura 8.32. *Carcasa interior del acoplamiento viscoso.*

© Ediciones Paraninfo

Recuerda que...

Una resistencia NTC (*Negative Temperature Coefficient*) disminuye su valor óhmico conforme aumenta la temperatura, por tanto, la intensidad de corriente se incrementará según lo haga la temperatura.



El funcionamiento de este sistema es el que muestra la Figura 8.33. Cuando el motor está frío, la silicona se encuentra en el depósito. Al aumentar la temperatura del aire que pasa por el radiador, proporcional a la temperatura del refrigerante, el resorte bimetálico mueve la lámina obturadora y la silicona puede pasar del orificio de salida del depósito al de entrada del rotor. La silicona fluye por el rotor y pasa por unas canalizaciones circulares intercaladas con la carcasa interior, produciéndose un mayor acoplamiento entre rotor y carcasa, aumentando la velocidad de giro del ventilador. Cuando se reduce la temperatura del refrigerante, el resorte bimetálico vuelve a su posición inicial haciendo que la lámina obturadora cierre el orificio de salida de la silicona del depósito. Por la acción centrífuga del rotor, la silicona abandona las canalizaciones circulares y es forzada a permanecer en el depósito y en la parte más periférica

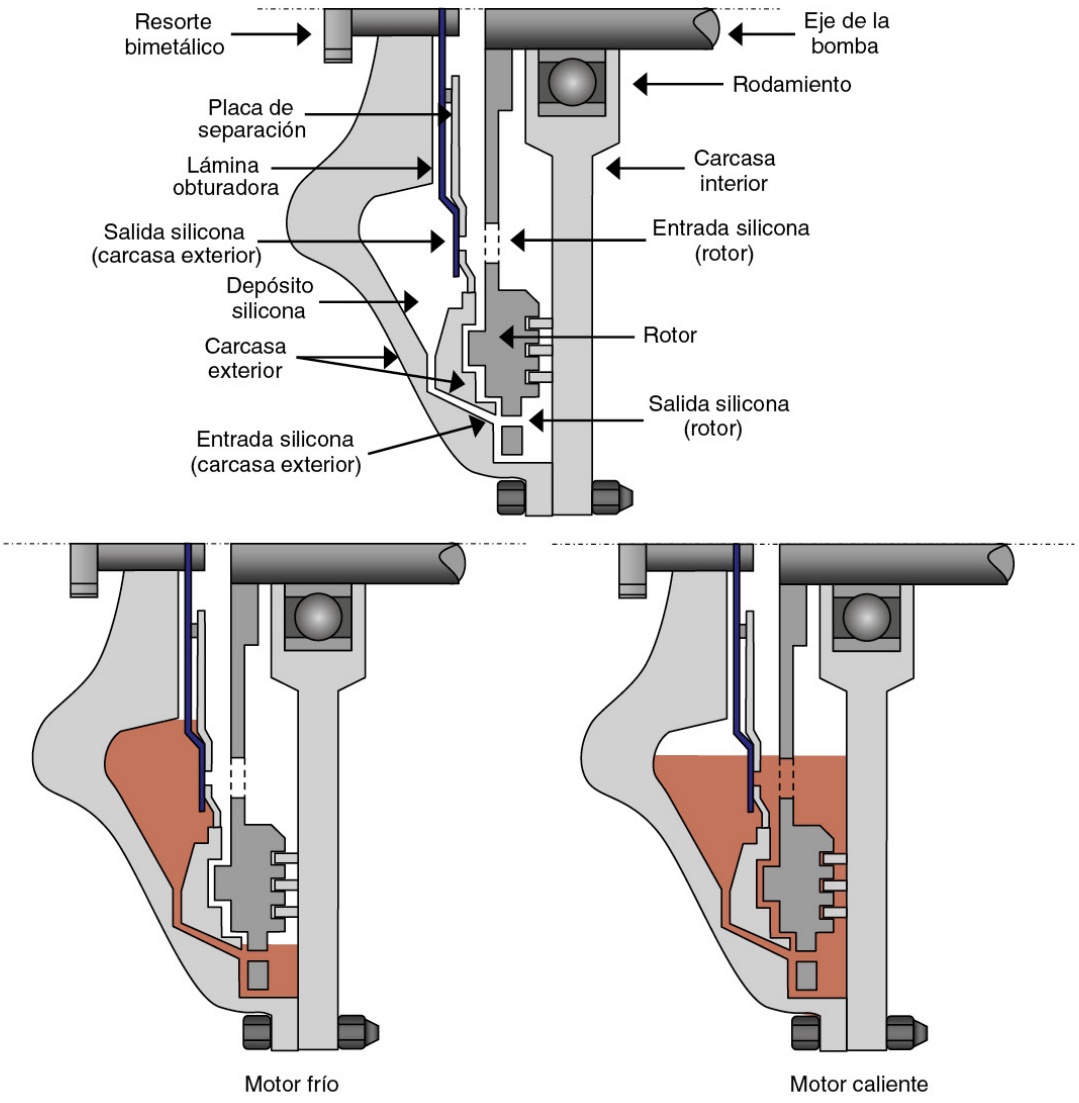


Figura 8.33. *Funcionamiento del acoplamiento viscoso.*

© Ediciones Paraninfo

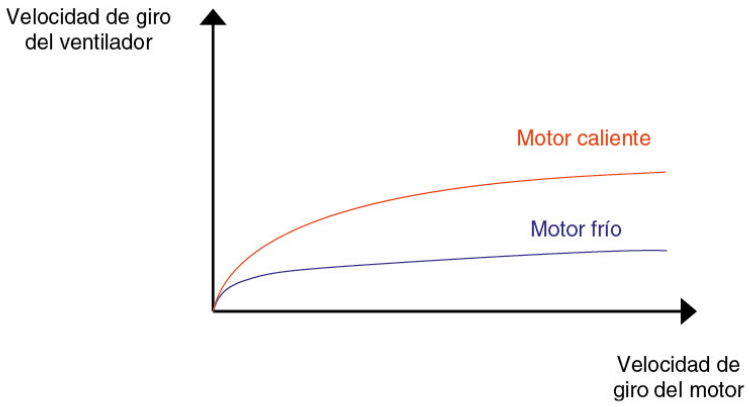


Figura 8.34. *Perfiles de relación de transmisión con el motor frío y con el motor caliente.*

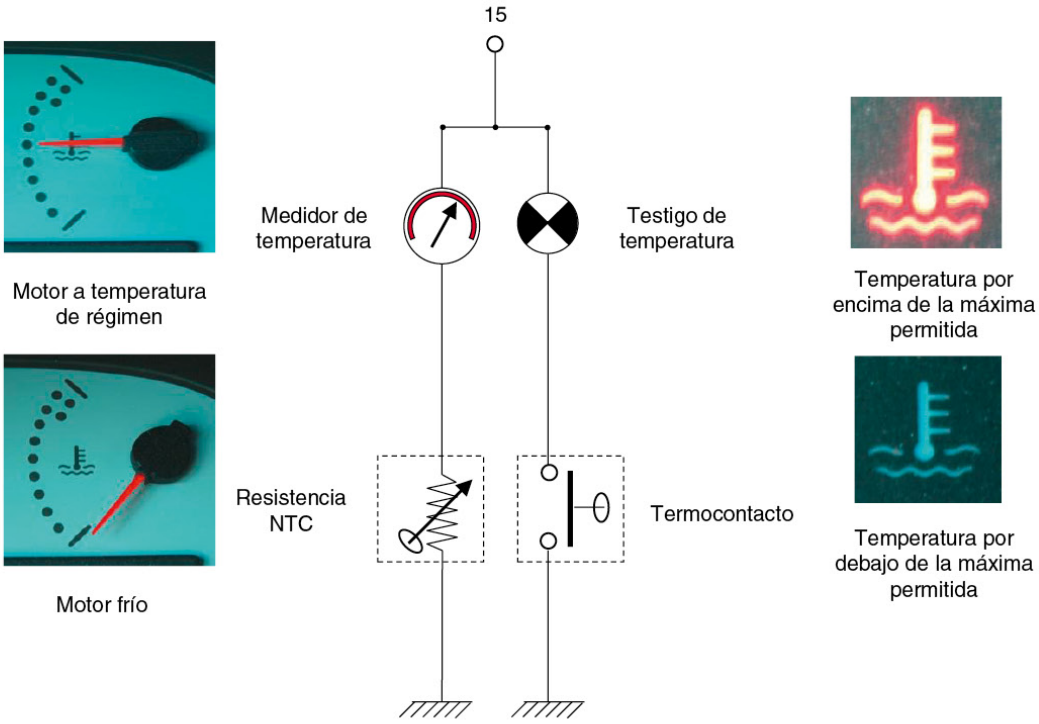


Figura 8.35. *Funcionamiento del testigo y del medidor de temperatura del refrigerante.*

del rotor que no produce acoplamiento con la carcasa interior, reduciendo la velocidad del ventilador.

Con el sistema de acoplamiento viscoso se obtienen dos perfiles de relación de transmisión entre el ventilador y el motor, como representa la Figura 8.34.

8.3.7. Elementos de control del sistema

Los elementos de control básicos del sistema de refrigeración son los siguientes:

- **Indicador de temperatura:** la información sobre la temperatura del refrigerante puede darse a través de un testigo, que se ilumina cuando se ha superado un cierto valor de la misma. El testigo se ilumina cuando un termocontacto similar al empleado en la puesta en marcha del electroventilador, cierra a masa el circuito que se alimenta con positivo de batería después del contacto. El testigo de temperatura es obligatorio, pero se le puede añadir un medidor de temperatura, donde a través de un indicador de aguja se informa de la temperatura del motor en todo momento. Este tipo de medidores pueden ser ciegos o incorporar

© Ediciones Paraninfo

una escala graduada en grados centígrados. Para mover la aguja del indicador, hay que variar la intensidad de corriente que circula por las bobinas que la atraen hacia un lado u otro variando el campo magnético. Con el fin de variar la intensidad se instala una resistencia variable con la temperatura, normalmente de tipo NTC, de forma que la intensidad de corriente aumenta con la temperatura. La Figura 8.35 muestra el funcionamiento del testigo y del medidor de temperatura del líquido refrigerante.

Muchos motores modernos incorporan una única sonda, como la de la Figura 8.36, que informa a la unidad de control del motor de la temperatura del líquido refrigerante. La unidad de control mandará información al cuadro de instrumentos para iluminar el testigo o mover el indicador de temperatura. Por otro lado, también se encarga de poner en marcha el electroventilador.

Figura 8.36. *Sonda de temperatura.*

- **Indicador de nivel de refrigerante:** en algunos vehículos se instala en el cuadro de instrumentos un testigo, similar al que aparece en la Figura 8.37, que indica cuándo el nivel del líquido refrigerante se encuentra por debajo del mínimo. La sonda de nivel de líquido suele instalarse en el vaso de expansión y consiste en un flotador y unos contactos que se cierran cuando el nivel llega al mínimo. La iluminación del testigo se produce con un cierto retardo para evitar posibles variaciones de nivel en curvas y aceleraciones.

Figura 8.37. *Testigo de nivel mínimo de líquido refrigerante.*

8.4. Gestión electrónica de la refrigeración del motor

Como es sabido, la refrigeración se encarga de mantener el motor dentro de un rango de temperaturas de funcionamiento, consiguiendo un compromiso entre la obtención del máximo rendimiento y la máxima protección de sus elementos. Por otro lado, también sirve para calefactar el habitáculo en situaciones de clima frío.

Actualmente, existen tecnologías para optimizar el funcionamiento del sistema de refrigeración, tomando como referencia los siguientes objetivos básicos:

- Aumentar el rendimiento del motor.
- Disponer más rápidamente de calefacción en el habitáculo.
- Calentar más deprisa el motor y la caja de cambios (si el vehículo incorpora transmisión automática), ya que un motor que aún no ha alcanzado la temperatura de régimen necesita más combustible para ofrecer las mismas prestaciones que cuando ha alcanzado su régimen permanente.

A continuación se va a explicar un moderno sistema de gestión de la refrigeración del motor empleado en algunos vehículos del grupo VAG, implementando en el ejemplo una caja de cambios automática. Este sistema tiene como misión lo siguiente:

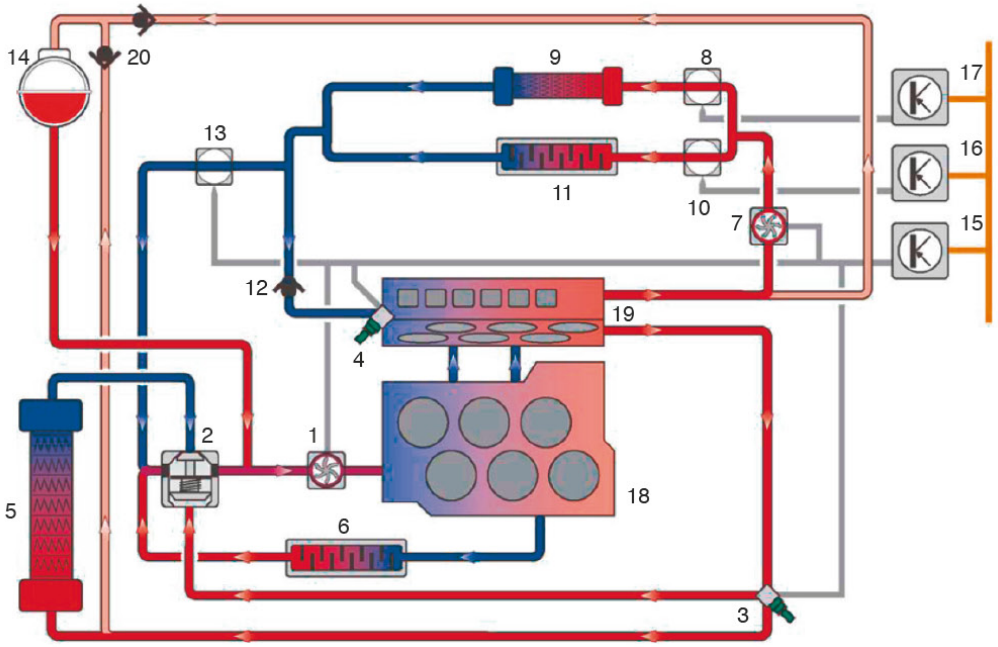
- **Minimizar la fase de calentamiento:** mediante el máximo aprovechamiento del calor aportado en la combustión para calentar el aceite del motor, el aceite de la caja de cambios automática y el habitáculo, si se desea tener un determinado confort térmico.
- **Optimizar la refrigeración una vez conseguida la temperatura de régimen:** evitando superar ciertos valores de temperatura que pueden afectar a los componentes, distribuyendo adecuadamente el exceso de calor.

© Ediciones Paraninfo

Para conseguir lo anterior, las unidades de control del motor, del cambio automático y del climatizador están interconectadas mediante la red CAN-BUS. De esta forma, se puede controlar todo el sistema, cuyo esquema general está representado en la Figura 8.38.

Seguidamente y a la vista de la Figura 8.38, se van a explicar los componentes principales del sistema.

- **Bomba de líquido refrigerante desacoplable:** es arrastrada por la correa de accesorios y se desacopla durante el arranque en frío y la fase de calentamiento, quedando retenido el refrigerante en el motor, calentándose más rápidamente. De esta forma, la bomba tiene tres modos de funcionamiento:
  - **Acoplada:** la bomba se acopla al sistema de transmisión de la correa de accesorios, impulsando el líquido refrigerante, cuando la temperatura del mismo está por debajo de –15 °C o por encima de 75 °C.
  - **Desacoplada:** la bomba se desacopla cuando la temperatura del líquido refrigerante se encuentra entre –15 y 75 °C, siempre y cuando se produzcan unas determinadas condiciones. La unidad de control del motor excita la válvula reguladora del líquido refrigerante y comunica el circuito de vacío, que hace que el diafragma se desplace. Como el anillo obturador y el diafragma están unidos por una varilla, el anillo obturador se mueve hasta hacer tope sobre el rodete, imposibilitando la impulsión del líquido.
  - **Acoplamiento progresivo:** la bomba ha de entrar en funcionamiento cuando la temperatura del refrigerante en la culata sea de unos 75 °C. Para que el refrigerante más frío del bloque se mezcle progresivamente en la culata y reducir el riesgo de choque térmico, la impulsión ha de ser progresiva. Para ello, durante la fase de acoplamiento, el anillo obturador de la bomba abre y cierra el paso simultáneamente durante un tiempo, impulsando el líquido de forma gradual.



1. Bomba de líquido refrigerante desacoplable.
2. Termostato.
3. Sensor de temperatura del refrigerante a la salida del motor.
4. Sensor de temperatura del refrigerante en la culata.
5. Radiador del líquido refrigerante.
6. Radiador de aceite del motor.
7. Segunda bomba de líquido refrigerante.
8. Válvula de corte de refrigerante hacia el calefactor.
9. Calefactor del habitáculo.
10. Válvula de desconexión del refrigerante hacia el intercambiador del cambio.
11. Intercambiador de calor del aceite del cambio.
12. Válvula antirretorno en el circuito de la culata.
13. Válvula para la desconexión del refrigerante hacia el bloque motor.
14. Depósito de expansión.
15. Unidad de control del motor.
16. Unidad de control del cambio automático.
17. Unidad de control del climatizador.
18. Bloque motor.
19. Culata.
20. Válvulas antirretorno en el depósito de expansión.

Figura 8.38. *Esquema general del sistema de gestión de la refrigeración.*

© Ediciones Paraninfo

La Figura 8.39 muestra el funcionamiento de la bomba de refrigerante desacoplable.

Recuerda que...

Una señal de PWM (*Pulse Wide Modulation*) permite gobernar progresivamente el funcionamiento de un actuador por parte de la unidad de control. Consiste en una señal cuadrada de frecuencia fija cuya anchura de pulso se puede variar y en función de esto poder tener el actuador más o menos tiempo activado. En el caso de un motor eléctrico, puede llevar a cabo una regulación continua de su velocidad de giro.

- **Segunda bomba de líquido refrigerante:** es una bomba centrífuga movida por un motor eléctrico cuyo funcionamiento es gestionado por la unidad de control del motor a través de una señal de tipo PWM. Esta bomba tiene la misión de transportar el refrigerante desde la culata hasta el calefactor del habitáculo cuando el líquido está inmovilizado en el bloque motor. De esta forma, se refrigera la culata y a su vez se tiene líquido caliente disponible en el calefactor del habitáculo. Por otro lado, tiene la función de impulsar refrigerante hacia el intercambiador de calor del aceite de la caja de cambios automática. El reparto del flujo hacia el calefactor o hacia el radiador de aceite del cambio depende de la demanda de calefacción en el habitáculo. Por último, esta bomba refuerza la impulsión de refrigerante hacia el calefactor del habitáculo cuando la bomba principal está acoplada, hay demanda de calefacción y el motor gira por debajo de 1250 rpm.
- **Electroválvulas:** a continuación se describen las diferentes electroválvulas que intervienen en el sistema:
  - **Electroválvula para la desconexión del refrigerante hacia el intercambiador de calor del aceite del cambio:** controla la aplicación de vacío sobre la válvula neumática de desconexión del refrigerante hacia el intercambiador de calor del aceite de la caja de cambios automática. La Figura 8.40 representa el funcionamiento de este sistema.
  - **Electroválvula para la desconexión del refrigerante hacia el bloque motor:** a través de la misma, la unidad de control del motor controla el vacío aplicado sobre una válvula neumática que abre o cierra el paso de líquido desde la segunda bomba de refrigerante hacia el bloque motor, evitando la circulación del fluido a baja temperatura durante la fase de calentamiento.
  - **Electroválvula de corte de refrigerante:** se encarga de permitir o imposibilitar el flujo de refrigerante hacia el calefactor del habitáculo, a través de un motor eléctrico gobernado por la unidad de control.
- **Válvulas de antirretorno:** existe una válvula antirretorno en el circuito de la culata, que se encarga, en condiciones de temperatura de régimen normal del refrigerante, de evitar que este fluya directamente desde la culata hasta la bomba desacoplable. Por otro lado, otras dos válvulas antirretorno evitan que la segunda bomba de refrigerante impulse aire al circuito desde el depósito de expansión.
- **Sensores de temperatura:** el sistema incorpora dos sensores de temperatura. El primero mide la temperatura del refrigerante a la salida del motor, para regular la temperatura del líquido, decidiendo la unidad de control del motor si debe o no activar los electroventiladores del radiador. El segundo sensor se monta próximo a la cámara

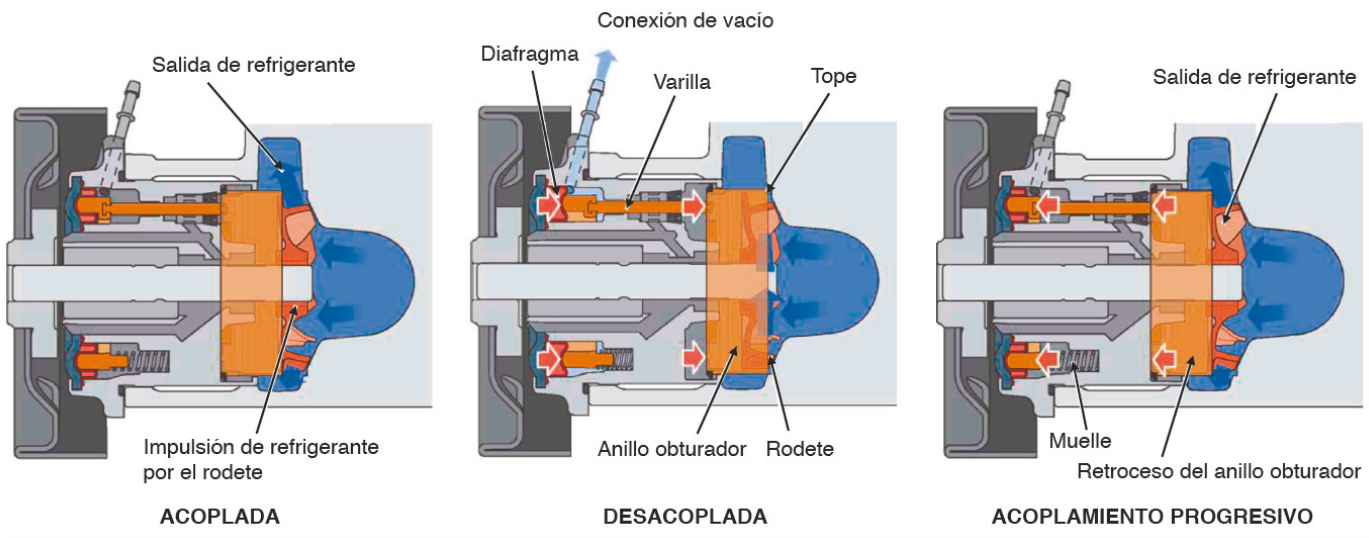


Figura 8.39. *Funcionamiento de la bomba de refrigerante desacoplable.*

© Ediciones Paraninfo

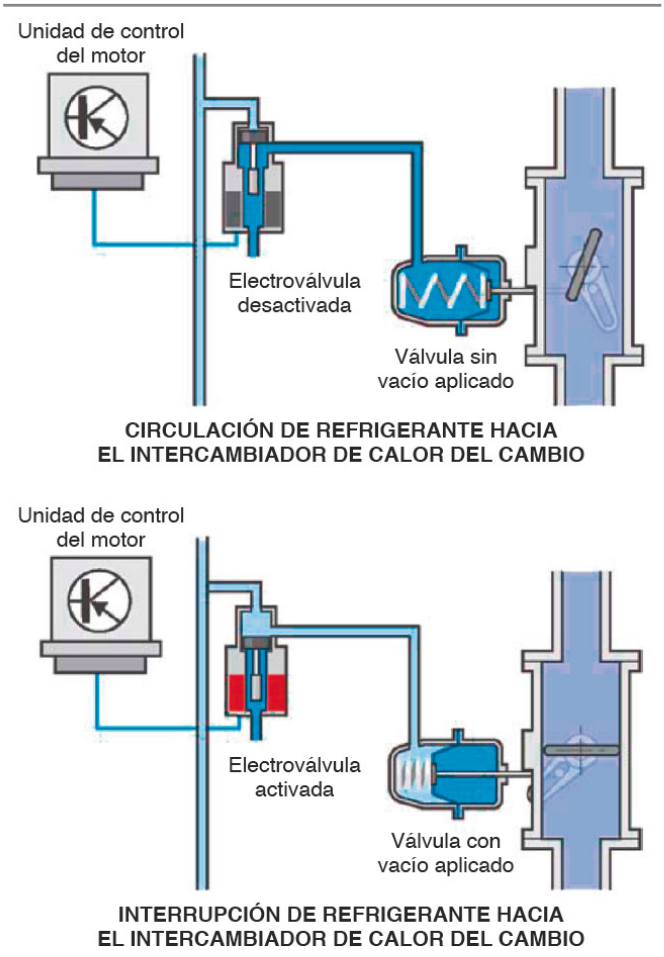


Figura 8.40. *Funcionamiento de la electroválvula para la desconexión del refrigerante hacia el intercambiador de calor de aceite de la caja de cambios automática.*

de combustión y se instala en la culata, informando a la unidad de control del motor de la temperatura del líquido, ayudando a gestionar la fase de calentamiento.

Para explicar el funcionamiento del sistema, se van a desarrollar dos procesos principales, el calentamiento en invierno y el calentamiento en verano, siguiendo la Figura 8.41.

- **Funcionamiento en invierno:** tiene lugar a través de las siguientes etapas:
  - **Etapa 1:** durante la fase de calentamiento, la unidad de control del motor excita la electroválvula que desacopla la bomba de refrigerante, evitando la circulación del mismo y reduciendo el tiempo de calentamiento del motor. Por tanto, el líquido refrigerante queda inmovilizado en el bloque motor.
  - **Etapa 2:** en caso de haber una solicitud de calefacción, la segunda bomba de refrigerante fuerza la disipación de calor de la culata hacia el calefactor del habitáculo, permitiendo el paso hacia el mismo la electroválvula de corte de refrigerante. El refrigerante sigue inmovilizado en el bloque motor.
  - **Etapa 3:** una vez que se han alcanzado 75 °C en la culata, se activa la bomba de refrigerante. Para suavizar la mezcla de líquido frío con el líquido caliente y evitar el choque térmico, la activación se hace intermitentemente durante unos instantes hasta su funcionamiento de forma continua.
  - **Etapa 4:** en esta etapa tiene lugar el calentamiento del aceite de la caja de cambios automática, gracias a su intercambiador de calor. Como la válvula neumática de desconexión del refrigerante hacia el bloque motor está cerrada, la segunda bomba impulsa refrigerante hacia el intercambiador de calor del cambio y/o hacia el calefactor del habitáculo, dependiendo de la demanda de calefacción solicitada.
  - **Etapa 5:** en el momento en que el motor ha alcanzado la temperatura de régimen de 87 °C, la válvula neumática de desconexión del refrigerante hacia el bloque motor se abre, dando por terminado el proceso de calentamiento. La bomba principal desacoplable puede suministrar refrigerante a todos los elementos y la segunda bomba deja de funcionar, poniéndose en marcha solo bajo ciertas condiciones, como por ejemplo cuando hay demanda de calefacción en el habitáculo y el régimen de giro del motor es inferior a 1250 rpm.
  - **Etapa 6:** cuando el refrigerante alcanza 89 °C, el termostato permite el paso de líquido hacia el radiador. Por otro lado, también se termina la fase de calentamiento del aceite del cambio, cerrando la válvula de paso de refrigerante hacia el intercambiador del cambio.
- **Calentamiento en verano:** las diferencias fundamentales con respecto al funcionamiento en invierno son las siguientes:
  - **Etapa 2:** en este caso no hay solicitud de calefacción en el habitáculo.
  - **Etapa 4:** dado que no se demanda calefacción, todo el refrigerante es impulsado hacia el intercambiador del aceite del cambio.
  - **Etapa 5:** la segunda bomba no entra en funcionamiento para reforzar a la principal por debajo de 1250 rpm, al no haber solicitud de calefacción.
  - **Etapa 6:** como no hay demanda de calefacción, la válvula de paso de refrigerante hacia el intercambiador del cambio permanece abierta después de alcanzar la temperatura de régimen, con el fin de que llegue circulación de líquido a la culata.

© Ediciones Paraninfo

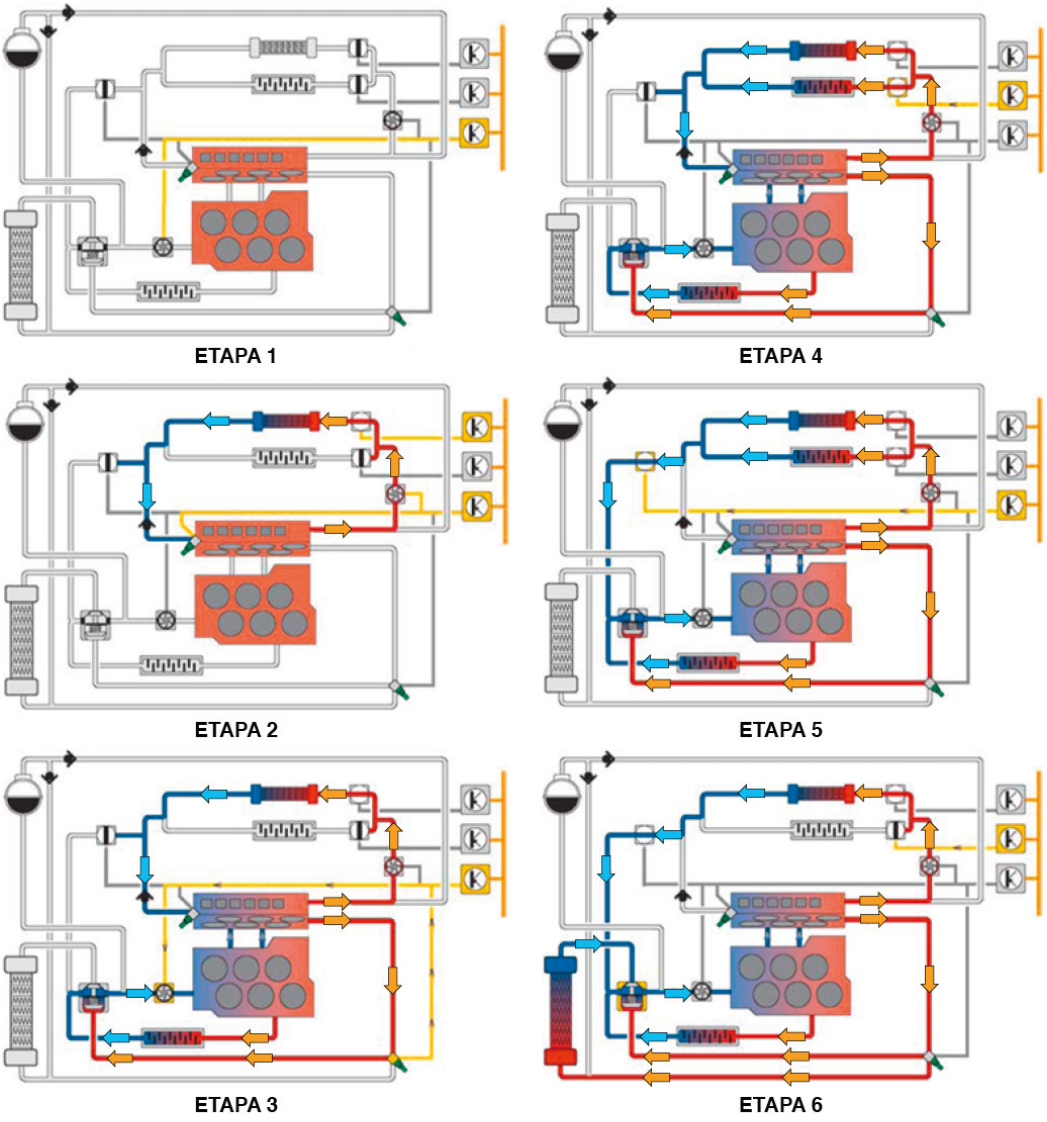


Figura 8.41. *Esquema de funcionamiento de la gestión electrónica para la refrigeración del motor.*

8.5. Mantenimiento, averías y comprobaciones del sistema de refrigeración por líquido refrigerante

8.5.1. Mantenimiento

El mantenimiento del sistema de refrigeración conlleva las siguientes operaciones principales:

- **Control periódico del nivel de líquido refrigerante:** aunque muchos vehículos incorporan un testigo de nivel de refrigerante mínimo en el cuadro de instrumentos, es conveniente realizar un control periódico del mismo en el vaso de expansión, como muestra la Figura 8.42. La inspección debe realizare con el motor frío y parado, debiéndose encontrar el nivel entre el mínimo y el máximo. Si fuera necesario se rellena con líquido de las mismas características especificadas por el fabricante. En el caso de tener que reponer líquido frecuentemente habrá que investigar si el sistema tiene alguna avería.
- **Control periódico de la tensión de la correa:** cuando se hace una revisión del nivel de refrigerante, es

© Ediciones Paraninfo

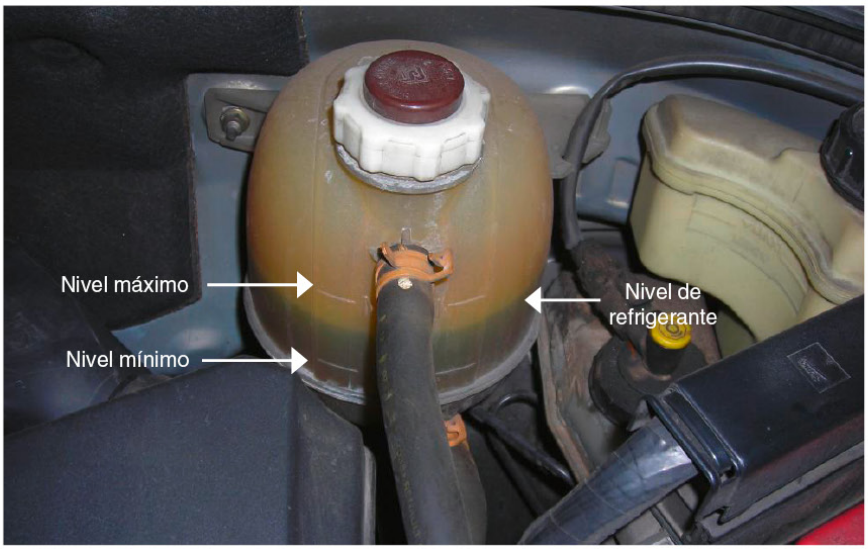


Figura 8.42. *Comprobación del nivel de refrigerante.*

conveniente comprobar la tensión de la correa de la bomba de agua, si está accesible, como en la Figura 8.43. Para tener una medida precisa de la tensión es necesario emplear un tensiómetro.

- **Control de la capacidad anticongelante del líquido refrigerante:** la capacidad anticongelante del líquido de refrigeración puede comprobarse con un densímetro y un termómetro. Este aparato de medida permite tomar una muestra del líquido e indica su densidad y temperatura en un momento dado. Posteriormente se mira en una tabla donde para ese valor de densidad y temperatura se le asocia una temperatura de congelación determinada. Un aparato más sofisticado para realizar esta comprobación es el refractómetro, que es capaz de medir el índice de refracción de un fluido, que depende de su densidad y temperatura, por lo que se puede relacionar con su punto de congelación.
- **Sustitución del líquido refrigerante:** el anticongelante pierde sus propiedades con el tiempo, por lo que el fabricante prescribe su sustitución cada cierto número de kilómetros o de años, normalmente cada 60 000 km o 2 años. Para proceder a la sustitución del líquido hay que seguir el manual de taller, pero un procedimiento genérico sería el siguiente:
  - Vaciar el circuito en un recipiente adecuado, retirando el manguito inferior del radiador (Figura 8.44.1) y el tapón de drenaje del bloque (Figura 8.44.2). En algunos sistemas, el radiador incorpora un tapón de drenaje, por lo que no hay que retirar el manguito.

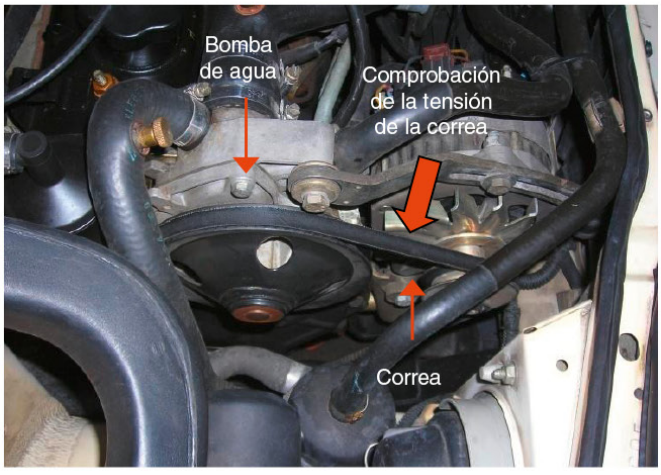


Figura 8.43. *Control de la tensión de la correa de la bomba de agua.*

© Ediciones Paraninfo

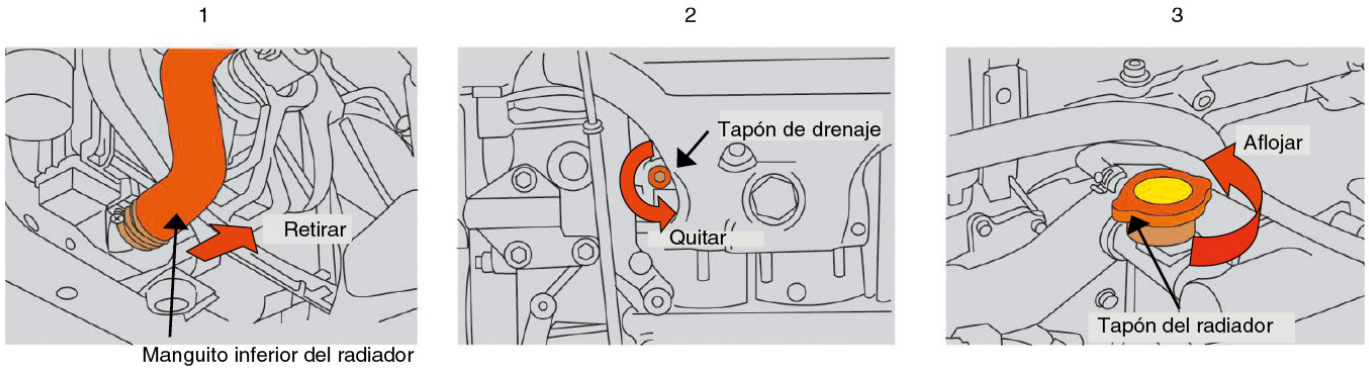


Figura 8.44. *Procedimiento de vaciado del circuito de líquido refrigerante.*

- Aflojar el tapón del radiador (Figura 8.44.3) o del vaso de expansión, según sea el caso, así como los purgadores.
- Aprovechando la sustitución del líquido se puede hacer también un lavado del circuito. Para ello se cierran los tapones de vaciado y se instalan los manguitos. Después se llena el circuito con agua limpia añadiendo un desincrustante adecuado en la proporción adecuada y compatible con los materiales del circuito. Se arranca el motor y se tiene unos minutos funcionando. Seguidamente se vacía de nuevo el circuito y se repite la operación con agua solamente. Se vuelve a vaciar y si el agua sale limpia se puede llenar con anticongelante.
- Para proceder al llenado con anticongelante se abren todos los purgadores y se introduce el líquido a través del vaso de expansión en la cantidad prescrita por el fabricante, estando el motor parado. El mando de la calefacción del habitáculo debe estar abierto al máximo para que se llene el calefactor. Los purgadores deben cerrarse en el momento que el líquido salga de forma continua sin burbujas. Posteriormente se arranca el motor, con el tapón del vaso de expansión abierto, y se mantiene así hasta que se alcance la temperatura de régimen (puesta en marcha del electroventilador). Se para el motor, se rellena de líquido y se pone el tapón del vaso de expansión. Con el motor frío se hace una comprobación final rellenando de nuevo si fuera necesario. Existen máquinas especiales que se encargan de hacer el lavado del sistema de refrigeración.

Recuerda que...

El anticongelante es tóxico y debe tratarse como tal introduciéndolo en un recipiente adecuado para tratarlo como residuo especial posteriormente. En ningún caso se verterá a la red de aguas.

8.5.2. Averías

Una avería en el sistema de refrigeración puede suponer daños graves en el motor, provocando deformaciones, sobre todo en el plano de junta de la culata con el bloque. También se puede llegar al gripaje de ciertos elementos, debido a una excesiva dilatación de las piezas.

Las averías más frecuentes y sus causas más probables, son las siguientes:

- **Pérdidas de líquido refrigerante:**
  - Debido a la fuga de líquido por la bomba, ya sea a través de su eje o en su unión con el bloque.
  - Por perforaciones en el radiador o falta de estanqueidad entre sus depósitos.
  - Provocadas por el tapón del vaso de expansión o del radiador, por defectos en la junta o en el tarado de las válvulas.
  - A través de los tapones de protección contra la congelación del bloque.
  - Por rotura de manguitos.
  - En caso de rotura de la junta de culata, pasando líquido a los cilindros, experimentando un consumo excesivo de refrigerante.
  - Ocasionadas por defectos en el conjunto calefactor del habitáculo.
- **Rotura de algunos elementos por exceso de presión:**
  - Debido a algún defecto de la válvula de sobrepresión.
  - Por obstrucción de conductos.
- **Aceite y líquido refrigerante mezclados:**
  - Por defectos en el enfriador de aceite.

© Ediciones Paraninfo

  - Causados por el deterioro de la junta de culata.
  - Debido a perforaciones en el bloque o una mala junta con el mismo y las camisas, en caso de ser húmedas.
- **Fallos en el testigo y medidor de temperatura:**
  - Por un fallo de la resistencia NTC o del termocontacto.
  - Ocasionado por algún defecto de la instalación eléctrica: conexiones, fusibles, bombillas...
- **Exceso de temperatura:**
  - Fallo del termostato, que o bien no abre, o no lo hace del todo.
  - Falta de líquido refrigerante por algún tipo de pérdida.
  - Obstrucción de conductos.
  - Acumulación de suciedad en las aletas del radiador.
  - Defecto del electroventilador, bien mecánico, o bien eléctrico, siendo lo más común el fallo del termocontacto, que no cierra el circuito a masa.
  - Bomba de agua con los álabes desgastados o con la correa floja.
- **Tiempo excesivo para alcanzar la temperatura de régimen:**
  - Por defecto del termostato, que se ha quedado abierto y deja pasar el líquido refrigerante al radiador cuando el motor está frío.
  - Causado por un fallo en el termocontacto del electroventilador, que mantiene siempre los contactos cerrados.

8.5.3. Comprobaciones

En el caso de que exista alguna avería, deben realizarse las siguientes comprobaciones, según se estime cuál pueda ser la causa:

- **Fugas del sistema:** para comprobar si existen fugas en el sistema se utiliza un aparato de comprobación de estanqueidad consistente en una bomba de aire manual y un manómetro, como muestra la Figura 8.45. Para ello se retira el tapón del radiador o del vaso de expansión y se acopla el aparato. Después se calienta el motor hasta la temperatura de régimen, parándolo a continuación. Se emplea la bomba del aparato para introducir en el sistema una presión ligeramente superior a la de tarado de la válvula de sobrepresión, siguiendo las indicaciones del fabricante, ya que una presión superior puede causar daños en el radiador. La presión ha de mantenerse, si no es así, hay que localizar la fuga y proceder a la reparación. Es importante tener en cuenta que antes de empezar a bombear aire hay que pinzar el conducto que va desde el radiador al vaso de expansión, en el caso de llevar el tapón en el radiador. Es posible que se produzcan fugas a los cilindros a través de la junta de culata, si esta se ha deteriorado, por lo que hay que comprobar esta circunstancia con un útil específico que introduce aire a través del orificio de la bujía y se observa si aparecen burbujas en el vaso de expansión, teniendo en cuenta que el cilindro a evaluar ha de tener las válvulas cerradas.

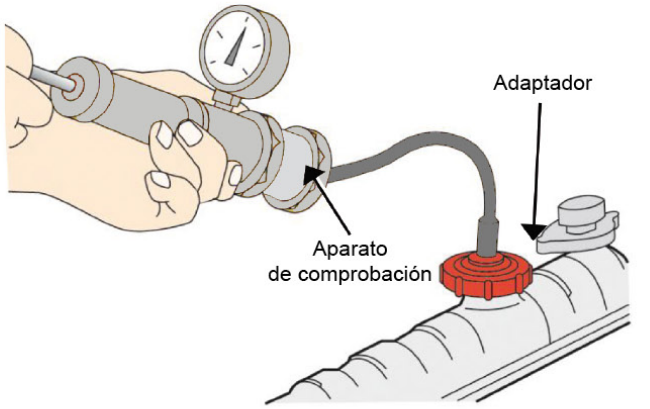
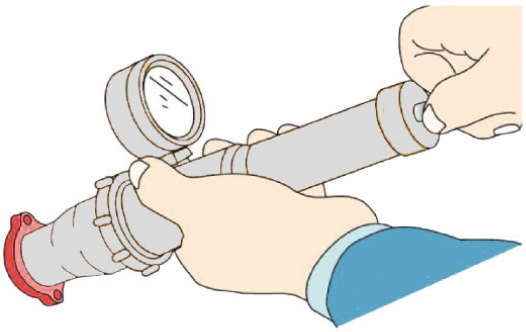


Figura 8.45. *Comprobación de fugas en el circuito de refrigeración.*

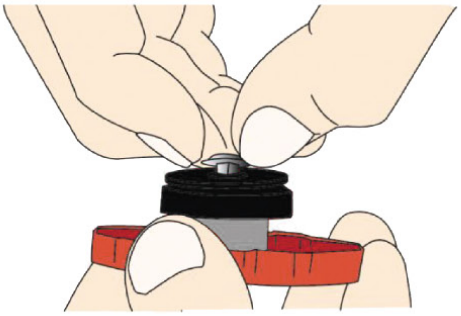
- **Válvulas de sobrepresión y de depresión:** para comprobar la válvula de sobrepresión se emplea el mismo útil que para la comprobación de fugas, instalando el adaptador del tapón. Se aplica presión y se comprueba que la válvula abre en el valor prescrito por el fabricante. Para comprobar la válvula de depresión se tira de la misma y se observa que cierre completamente al soltarla. La Figura 8.46 muestra estos dos procedimientos.
- **Bomba de agua:** normalmente cuando se desmonta la bomba de agua suele ser para sustituirla, bien porque se observe pérdida de líquido a través de su eje, o bien porque se aproveche el cambio de la correa de la distribución, si es movida por esta, ya que muy probablemente también esté llegando al final de su vida útil. En cualquier caso hay que observar que tanto el cuerpo de la bomba como los álabes no presenten síntomas de corrosión. La Figura 8.47 muestra unos álabes corroídos por cavitación.

Una vez desmontada la bomba se comprobará que no tiene excesivo juego axial y que gira suavemente. Antes de instalarla, si se reutiliza la misma bomba, se limpiarán los restos de junta con una espátula. Cuando se proceda

© Ediciones Paraninfo



Comprobación de la válvula de sobrepresión



Comprobación de la válvula de depresión

Figura 8.46. *Comprobación de las válvulas de sobrepresión y de depresión.*

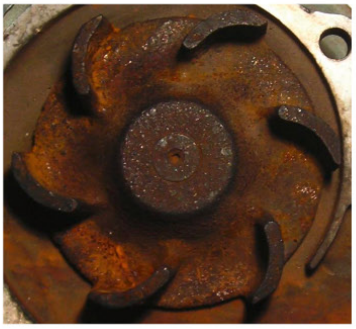
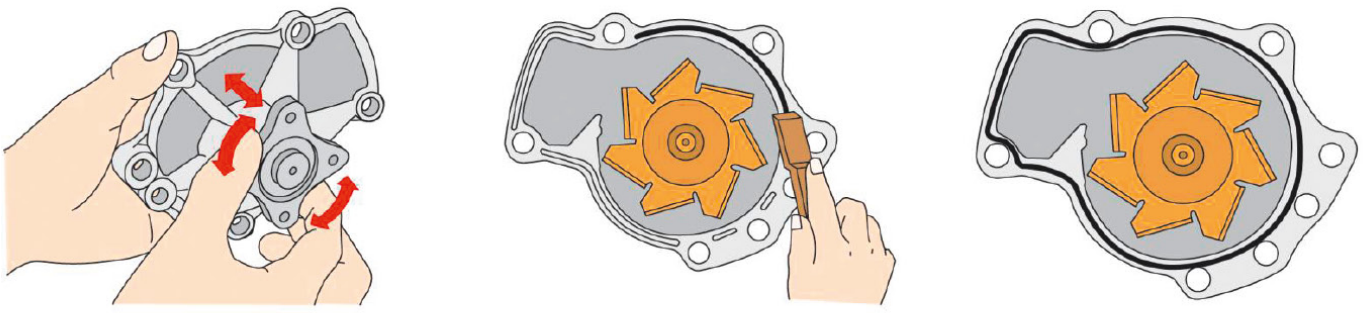


Figura 8.47. *Álabes de la bomba de agua con síntomas de corrosión por cavitación.*

al montaje se instalará una junta nueva o se aplicará junta líquida. La Figura 8.48 muestra estos procedimientos.

Tras el montaje de la bomba se procederá al llenado del circuito de la forma descrita anteriormente.

- **Termostato:** para comprobar el termostato, se introduce en un recipiente con agua y se calienta. Con un termómetro se comprueba que abre a la temperatura prescrita y que el recorrido de la válvula es el correcto. Unos valores orientativos podrían ser: inicio de apertura a 77 °C, fin de la apertura 90 °C y recorrido de la válvula 9 mm. Para instalar de nuevo el termostato hay que tener en cuenta su posición, que vendrá indicada con una marca, y aplicar junta líquida nueva en su alojamiento. La Figura 8.49 indica estas operaciones.
- **Ventilador:** las comprobaciones en el ventilador dependerán de si es electroventilador o ventilador de acoplamiento viscoso:
  - **Electroventilador:** si no se pone en marcha puede ser debido a diferentes causas. Lo primero que hay que hacer es empezar por las comprobaciones más fáciles. Hay que verificar que el ventilador no esté agarrotado y que gire libremente. Después se comprueban las conexiones eléctricas y elementos del circuito como el fusible y el relé, con ayuda de un polímetro. Para descartar una avería en el motor eléctrico se alimentará directamente de la batería, teniendo cuidado de no hacer cortocircuito y tomando las debidas precauciones con las palas del ventilador. Por último se deberá comprobar el termocontacto, introduciéndolo en un recipiente con agua y calentándolo, de la misma forma que se hacía con el termostato. Con un polímetro se deberá observar que cuando llegue a la temperatura de conexión, la lectura es de continuidad o muy baja resistencia. Cuando el agua se enfríe y se alcance la temperatura de conexión, la lectura debe ser de resistencia infinita. La Figura 8.50 representa la comprobación del termocontacto del electroventilador.



Comprobación del juego axial y del cojinete — Limpieza de restos de junta — Aplicación de junta líquida nueva

Figura 8.48. *Comprobación de la bomba de agua, limpieza de restos de junta y aplicación de junta líquida para su montaje.*

© Ediciones Paraninfo

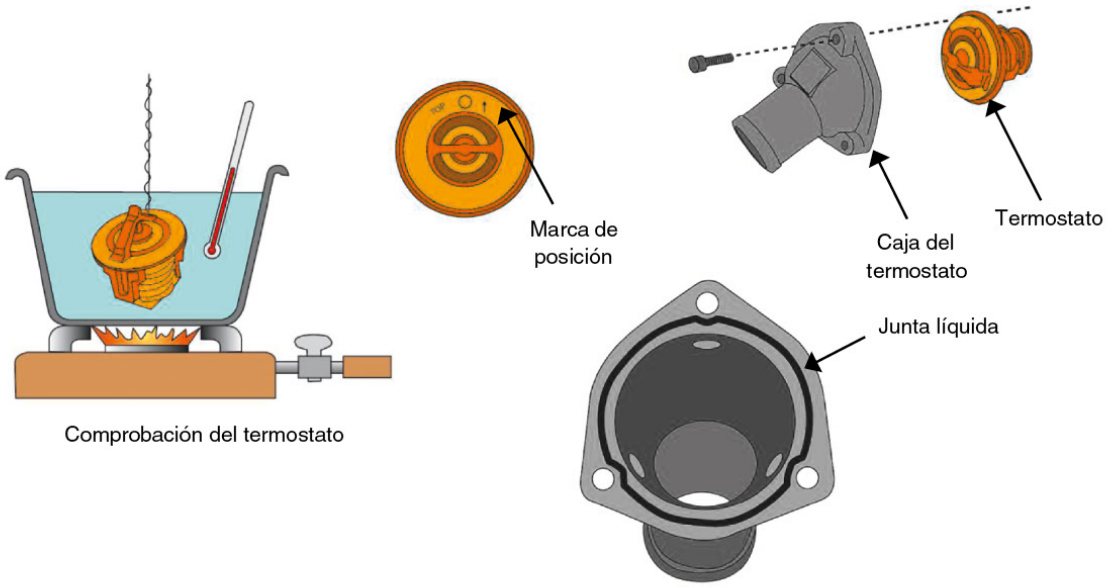


Figura 8.49. *Comprobación y montaje del termostato.*

– **Ventilador de acoplamiento viscoso:** en el caso de este tipo de ventiladores deberá comprobarse si el acoplamiento funciona con suavidad, como muestra la Figura 8.51, si tiene fugas de silicona o si el elemento bimetálico está dañado.

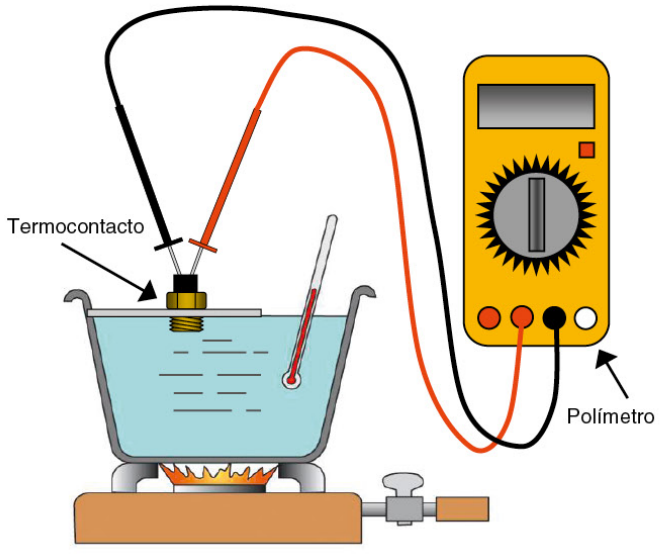


Figura 8.50. *Comprobación del termocontacto del electroventilador.*

- **Termorresistencia y termocontacto de los indicadores de temperatura:** para comprobar el termocontacto que cierra el circuito del testigo de temperatura y la termorresistencia del medidor de temperatura, se procede de la misma forma que para comprobar el termocontacto del electroventilador. En el caso de la termorresistencia, el fabricante suele dar una tabla, donde se asocian varios valores de resistencia a diferentes temperaturas, como por ejemplo las que aparecen en la Tabla 8.1.

TABLA 8.1

Temperatura [°C]	Resistencia [Ω]
60 ± 0,5	de 500 a 600
90 ± 0,5	de 150 a 250
120 ± 0,5	de 75 a 95

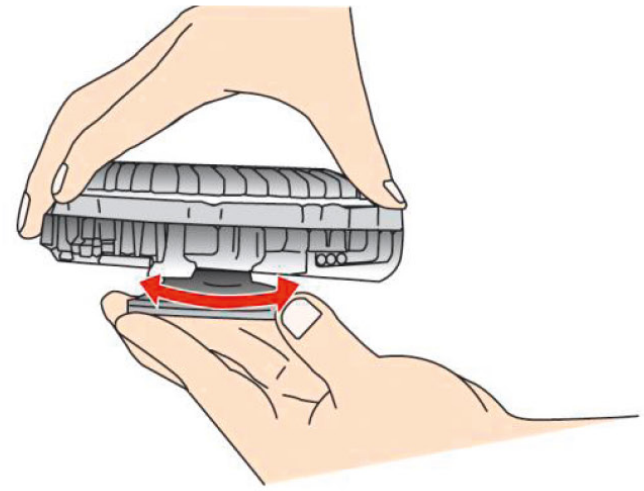
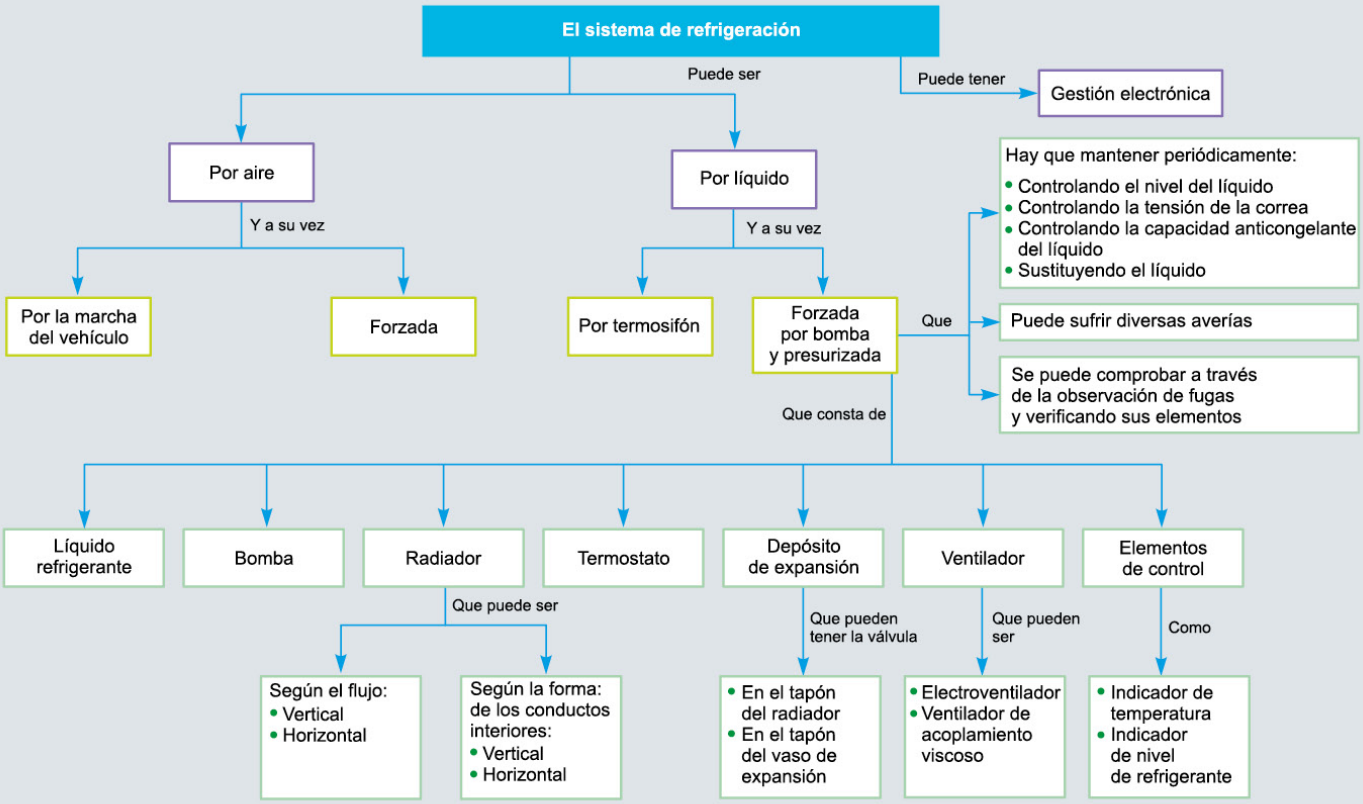


Figura 8.51. *Comprobación del funcionamiento del acoplamiento viscoso.*

© Ediciones Paraninfo

SÍNTESIS

El sistema de refrigeración



© Ediciones Paraninfo

COMPRUEBA

8.1. En la refrigeración por aire:

a) Se tarda más tiempo en alcanzar la temperatura de régimen que en la refrigeración por líquido.

b) Los juegos de montaje de las piezas son menores que en la refrigeración por líquido.

c) Es más fácil controlar la temperatura del motor que en la refrigeración por líquido.

d) El rendimiento del motor es mayor que en la refrigeración por líquido.

8.2. El líquido refrigerante debe tener:

a) Una temperatura de congelación baja y de ebullición baja.

b) Una temperatura de congelación baja y de ebullición alta.

c) Una temperatura de congelación alta y de ebullición baja.

d) Una temperatura de congelación alta y de ebullición alta.

8.3. ¿Cuáles de los siguientes elementos de un ventilador de acoplamiento viscoso giran solidariamente?:

a) La bomba de agua, la polea y el rotor.

b) La bomba de agua, la polea y la carcasa.

c) La bomba de agua, la carcasa interior y la carcasa exterior.

d) La bomba de agua, la carcasa interior y el ventilador.

8.4. Una resistencia NTC:

a) Disminuye su valor óhmico conforme disminuye la temperatura.

b) Disminuye su valor óhmico conforme aumenta la temperatura.

c) Aumenta su valor óhmico conforme disminuye la temperatura.

d) Aumenta su valor óhmico conforme aumenta la temperatura.

8.5. El elemento que activa el testigo de temperatura es:

a) Una resistencia NTC.

b) Un termostato.

c) Un termocontacto.

d) Un diodo.

8.6. Cuando se inicia el llenado del circuito de refrigeración:

a) Hay que tener el motor parado.

b) Hay que tener el motor arrancado y al ralentí.

c) Hay que tener el motor arrancado y mantenerlo por encima de 2000 rpm.

d) Que el motor esté parado o arrancado es indiferente.

8.7. La aparición de aceite mezclado con refrigerante en el vaso de expansión puede deberse:

a) A una obstrucción de los conductos.

b) A que el termostato se queda abierto.

c) Al deterioro de la junta de culata.

d) A la rotura de un manguito.

8.8. Un tiempo excesivo para alcanzar la temperatura de régimen puede deberse:

a) A una obstrucción de los conductos.

b) A que el termostato se queda abierto.

c) Al deterioro de la junta de culata.

d) A la rotura de un manguito.

8.9. La rotura de un manguito por exceso de presión puede deberse:

a) A defectos del calefactor del habitáculo.

b) A que no abre la válvula de sobrepresión.

c) A que el enfriador de aceite está perforado.

d) A un fallo del termostato, que no abre o no lo hace totalmente.

8.10. Un exceso de temperatura del motor puede deberse:

a) A defectos del calefactor del habitáculo.

b) A que no abre la válvula de sobrepresión.

c) A que el enfriador de aceite está perforado.

d) A un fallo del termostato, que no abre o no lo hace totalmente.

REALIZA

8.11. Enumerar las principales ventajas e inconvenientes del sistema de refrigeración por aire.

8.12. Enumerar las principales ventajas e inconvenientes del sistema de refrigeración por líquido.

8.13. Nombrar los requisitos que debe cumplir el anticongelante.

8.14. Hacer un esquema del circuito de refrigeración, con los componentes básicos del mismo, cuando el termostato está cerrado (motor frío) y cuando el termostato está abierto (motor caliente).

8.15. Explicar el funcionamiento de la válvula en el tapón del radiador y de la válvula en el tapón del vaso de expansión.

8.16. Tomar un vehículo e identificar todos los elementos del sistema de refrigeración, haciendo un esquema de la circulación del líquido con el motor frío y con el motor caliente.

8.17. Realizar la sustitución del líquido refrigerante de un vehículo, lavando el circuito. Consultar el manual de taller para identificar los tapones de drenaje, purgadores y posibles peculiaridades del procedimiento.

© Ediciones Paraninfo

ACTIVIDADES FINALES

El sistema de refrigeración

8.18. Comprobar si el sistema de refrigeración de un vehículo tiene fugas, verificando la estanqueidad del circuito. Puede ser necesario consultar el manual de taller para conocer la presión máxima de comprobación que se puede aplicar.

8.19. Tomar un termostato y proceder a su verificación, teniendo en cuenta las temperaturas de tarado que vienen marcadas en el mismo.

8.20. Buscar en el taller un termocontacto de electroventilador, un termocontacto del testigo de temperatura y una resistencia NTC del indicador de temperatura. Proceder a su comprobación con ayuda de un polímetro y el resto de elementos necesarios para su calentamiento y medición de temperatura. Comparar los valores obtenidos de resistencia y temperatura con los del fabricante.

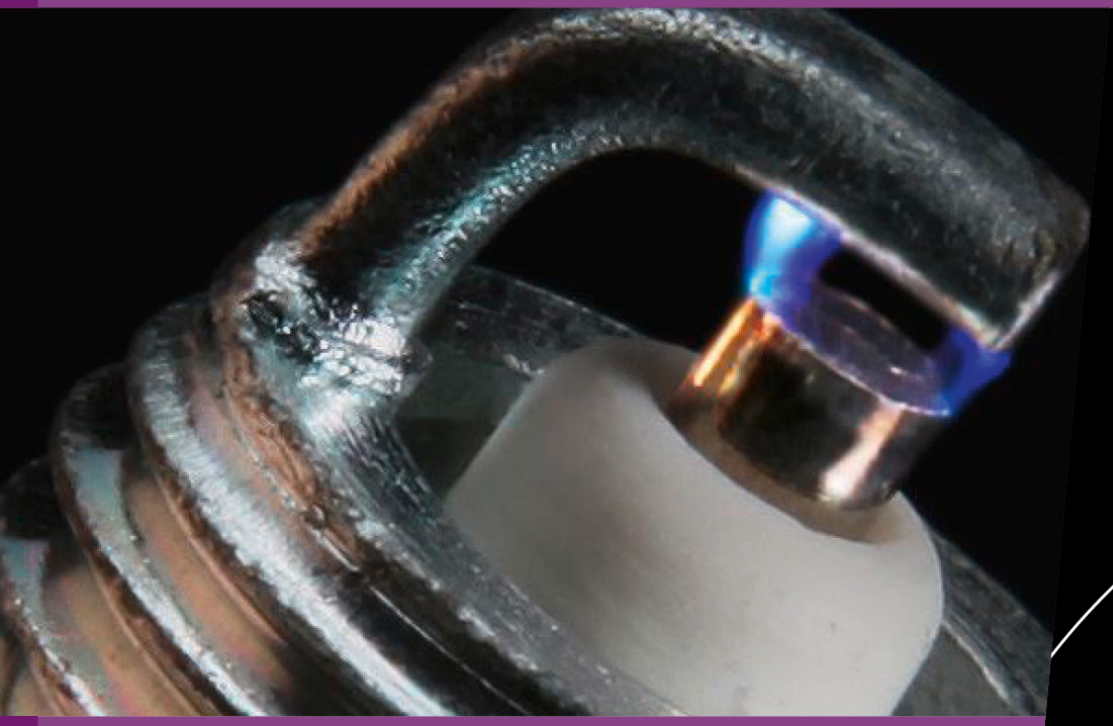
INVESTIGA

8.21. Buscar información acerca de los termostatos controlados electrónicamente, explicando su funcionamiento dependiendo de las diferentes condiciones operativas del motor.

8.22. Investigar en la bibliografía o en internet sobre el funcionamiento de las bombas de líquido refrigerante de funcionamiento eléctrico.

© Ediciones Paraninfo

Sistemas de encendido



9

CONTENIDOS

9.1. Introducción al sistema de encendido
9.2. Componentes del encendido convencional
9.3. Evoluciones
9.4. Mantenimiento, averías y comprobaciones

OBJETIVOS

- Comprender la necesidad del sistema de encendido en motores de gasolina.
- Entender los principios electromagnéticos básicos necesarios para explicar el funcionamiento del sistema de encendido.
- Conocer el funcionamiento y componentes del encendido convencional.
- Explicar las diferentes evoluciones en los sistemas de encendido.
- Mantener correctamente el sistema de encendido y analizar las posibles averías que en él pudieran surgir.

Los motores de combustión interna de ciclo Otto o de gasolina necesitan una causa externa para iniciar la inflamación de la mezcla de combustible–aire. Esta causa es el salto de chispa de la bujía, producida gracias al sistema de encendido.

A lo largo de este capítulo se van a desarrollar los principios de funcionamiento del sistema de encendido básico o también llamado convencional. Posteriormente se irán explicando las diferentes evoluciones tecnológicas que ha sufrido este sistema. Finalmente, se dedicará un apartado al mantenimiento, comprobaciones y posibles averías de los diferentes sistemas de encendido.

9.1. Introducción al sistema de encendido

El sistema de encendido se compone de un conjunto de elementos que hacen posible el salto de chispa en las bujías, necesario para producir la inflamación de la mezcla de gasolina y aire en el interior del cilindro.

La chispa se produce entre los electrodos de la bujía y para ello es necesario establecer un arco eléctrico entre ambos, como muestra la Figura 9.1. Hay que tener en cuenta que para producir dicho arco eléctrico es preciso ionizar el gas del interior del cilindro formado por la mezcla de combustible y aire.

Figura 9.1. *Salto de chispa en la bujía.*

Para ionizar el gas, es decir, para que pase de ser aislante o dieléctrico a poder conducir la corriente, es necesaria una gran diferencia de potencial entre los electrodos. La tensión necesaria para establecer un arco eléctrico en el interior del cilindro varía entre 4000 V y 20 000 V, pudiendo ser superior para muchos motores y en función de las condiciones operativas de los mismos.

Pero como es sabido, la tensión con la que funcionan la mayoría de los dispositivos del vehículo es de 12 V. De ahí que sea necesario un elemento que transforme esta baja tensión en la suficiente para el salto de chispa. De ello se encargará la bobina, que es un transformador elevador de tensión, cuyo funcionamiento se basa en el fenómeno de la autoinducción.

Este fenómeno consiste en que si se hace pasar una corriente variable por una bobina, se genera un campo magnético, también variable. Al mismo tiempo, este campo magnético variable autoinduce en la bobina una corriente eléctrica que tiende a oponerse a la corriente que la produjo, por el principio de conservación de la energía. Esto se conoce como Ley de Lenz.

Para comprender mejor este concepto, es necesario tomar los elementos básicos para transformar la tensión de batería en alta tensión y producir el salto de chispa, representados en la Figura 9.2.

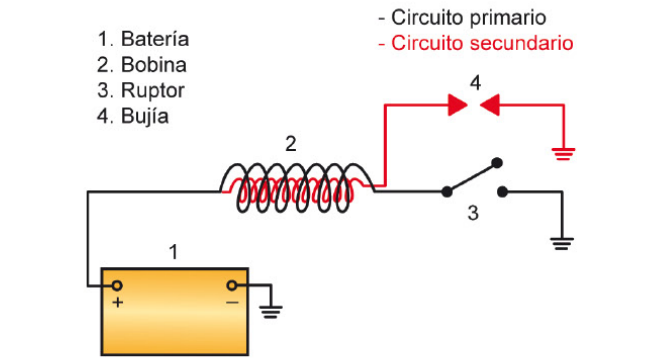


Figura 9.2. *Elementos necesarios para producir el salto de chispa.*

Cuando se cierra el ruptor, circula una corriente por el circuito primario y la diferencia de potencial entre los extremos o terminales del arrollamiento primario de la bobina es igual a la tensión de batería, es decir, 12 V, como muestra la Figura 9.3, habiéndose generado un campo magnético.

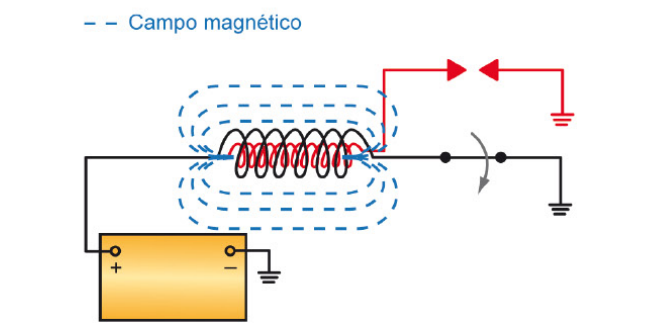


Figura 9.3. *Circulación de corriente por el circuito primario.*

Este proceso no ocurre de forma instantánea, sino que tarda un cierto tiempo en producirse debido al fenómeno de autoinducción de la bobina. Al cerrarse los contactos del ruptor, empieza a circular corriente a través del circuito primario, desde el positivo de batería hasta la masa del ruptor. Según varía esta corriente, se genera un campo magnético variable en el arrollamiento primario, que a su vez provoca una fuerza contra-electromotriz (f.c.e.m.), y por tanto una contracorriente, que se opone a la tensión que ha sido necesaria para establecer la corriente inicial. Esto significa que

© Ediciones Paraninfo

Actividad resuelta 9.1

Calcular la intensidad de campo magnético (B) y el flujo magnético (Φ) que generará el arrollamiento primario de una bobina que tiene las siguientes características: número de espiras $N = 280$ y longitud de las espiras $L = 12$ cm. Además, para concentrar las líneas de fuerza magnética, la bobina tiene en su interior un núcleo cilíndrico de ferrita con un diámetro $D = 2$ cm y un coeficiente de permeabilidad magnética relativa $\mu_r = 300$. La corriente que circula por el circuito primario tiene un valor de $I = 4$ A.

Dato: permeabilidad magnética del vacío $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$.

Solución:

La *intensidad de campo magnético* (B) es la atracción que es capaz de ejercer el campo magnético sobre un objeto de hierro situado cerca de él. La intensidad de campo magnético es proporcional al número de líneas de fuerza magnética y se calcula de la siguiente forma:

$$B = \mu \cdot \frac{N \cdot I}{L}$$

Donde:

- B es la intensidad del campo magnético, en teslas [T]. Para conseguir una intensidad de campo magnético de 1 tesla, una fuerza de 1 newton debe actuar sobre un alambre de 1 metro de longitud que lleve 1 amperio de corriente.
- I es la intensidad de corriente eléctrica, en amperios [A].
- N es el número de espiras de la bobina.
- L es la longitud, en metros [m].
- μ es la permeabilidad magnética, que resulta de multiplicar la permeabilidad magnética del vacío, en $\frac{\text{N}}{\text{A}^2}$, por la permeabilidad relativa del material $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$. μ_r es el coeficiente de permeabilidad del material del núcleo de la bobina. La permeabilidad magnética es la propiedad de los materiales férricos para concentrar en su interior líneas de fuerza de un campo magnético. Si es mayor o igual que 1 ($\mu \geq 1$), el material es paramagnético, es decir, no le afecta el campo magnético (cromo, aluminio, aire…). Si la permeabilidad magnética es mucho mayor que 1 ($\mu >> 1$), el material es ferromagnético y se ve sometido a fuerzas dentro de un campo magnético, pudiendo generar otro después de un tiempo (hierro, níquel…). En el caso de que tenga un valor menor que ($\mu \leq 1$), el material es diamagnético y entorpece el paso del campo magnético a través de él (antimonio, mercurio…). En las bobinas de encendido se dispone de un núcleo de material ferromagnético para aumentar el fenómeno de la autoinducción.

El *flujo magnético* (Φ) es el número total de líneas de fuerza que tiene el campo magnético generado por la bobina. Se calcula de la siguiente forma:

$$\Phi = B \cdot S$$

Donde:

Φ es el flujo magnético, en weber [Wb].

B es la intensidad del campo magnético, en teslas [T].

S es la sección del núcleo de la bobina, en metros cuadrados [m^2].

Con los datos del problema se aplican las fórmulas, pasando los centímetros a metros:

$$B = \mu \cdot \frac{N \cdot I}{L} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N \cdot I}{L} = 4\pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{\text{N}}{\text{A}^2}\right] \cdot 300 \cdot \frac{280 \cdot 4\ [\text{A}]}{0{,}12\ [\text{m}]} = 3{,}52\ \text{T}$$

Para calcular el valor del flujo magnético hay que hallar la sección del núcleo en metros, que es determinar el área de un círculo:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 2^2}{4} = 3{,}14\ \text{cm}^2 = 3{,}14 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2 \qquad \Phi = B \cdot S = 3{,}52\ [\text{T}] \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-4}\ [\text{m}^2] = 1{,}10 \cdot 10^{-3}\ \text{Wb}$$

Luego esta bobina generará una intensidad del campo magnético que será de 3,52 T y un flujo magnético de $1{,}10 \cdot 10^{-3}$ Wb.

© Ediciones Paraninfo

la f.c.e.m. generada tiene polaridad inversa a la de la batería. Esto hace que tarde en estabilizarse el sistema y en alcanzarse la corriente de reposo, en torno a 10 o 15 milisegundos, como representa la Figura 9.4.

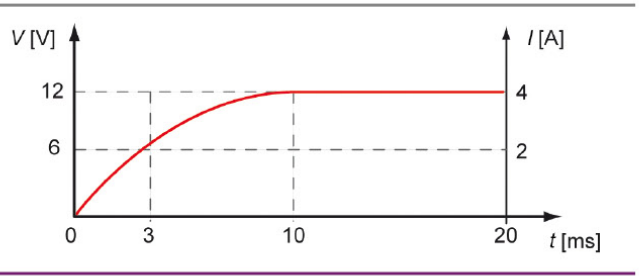


Figura 9.4. *Representación gráfica de la estabilización de la corriente de reposo en el arrollamiento primario de la bobina.*

Por este motivo se demora la creación del campo magnético en el primario, disminuyendo la variación de flujo magnético por unidad de tiempo y ocasionando que la corriente inducida en el arrollamiento secundario sea pequeña. No hay que olvidar que el valor de la corriente inducida en el arrollamiento de una bobina es directamente proporcional a la rapidez con la que varíe el flujo magnético por unidad de tiempo. En estas circunstancias, la fuerza electromotriz (f.e.m.) inducida en el secundario es insuficiente para hacer que salte la chispa en la bujía, disipándose la energía generada por la corriente inducida en forma de calor por efecto Joule en el arrollamiento secundario.

Hasta ahora se ha visto cómo el arrollamiento primario de la bobina es capaz de generar un campo magnético de cierta intensidad y, con él, un flujo magnético.

Si ahora se abren los contactos del ruptor, como muestra la Figura 9.5, se interrumpe la circulación de corriente por el circuito primario, desapareciendo el campo magnético, induciéndose de nuevo una f.e.m. en el arrollamiento

Actividad resuelta 9.2

Con los resultados obtenidos en la Actividad resuelta 9.1:

a) Calcular la f.e.m. que generará la bobina en el arrollamiento primario y en el arrollamiento secundario, sabiendo que el número de espiras del secundario es $N_2 = 28\,000$ y que el tiempo que tardan en abrirse los contactos es $t = 0{,}0015$ s.

b) Comentar los resultados obtenidos.

Solución:

a) Para calcular la f.e.m. inducida en una bobina hay que aplicar la Ley de Faraday-Lenz, cuya expresión es la siguiente:

$$\text{f.e.m.} = \frac{\Phi \cdot N}{t}$$

Donde:

f.e.m. es la fuerza electromotriz inducida, en voltios [V].

Φ es el flujo magnético, en weber [Wb].

N es el número de espiras del arrollamiento correspondiente.

$$\text{f.e.m.}_1 = \frac{\Phi \cdot N_1}{t} = \frac{1{,}10 \cdot 10^{-3}\ [\text{Wb}] \cdot 280}{0{,}0015\ [\text{s}]} = 205{,}33\ \text{V}$$

$$\text{f.e.m.}_2 = \frac{\Phi \cdot N_2}{t} = \frac{1{,}10 \cdot 10^{-3}\ [\text{Wb}] \cdot 28.000}{0{,}0015\ [\text{s}]} = 20\,533{,}33\ \text{V}$$

Luego la tensión inducida en el arrollamiento primario será de 205,33 V y en el secundario de 20 533,33 V.

b) De todo lo anterior se deduce que la tensión inducida en el secundario depende de varios factores. Uno de ellos es la geometría de la bobina, teniendo en cuenta que hay que controlar la resistencia total del primario, por lo que el número de espiras y la longitud no debe ser excesiva. Por otro lado, la permeabilidad magnética del núcleo es importante, pudiendo variar enormemente en función del material. La intensidad que circula por el circuito primario también influye y su valor ha de estar acotado para no quemar los contactos del ruptor. El número de espiras del arrollamiento secundario también afecta, a mayor número de espiras, mayor tensión inducida. Por último, el tiempo que tarda en desaparecer el flujo magnético, aproximadamente el tiempo de apertura de contactos, también influye, a menor tiempo, mayor tensión inducida.

© Ediciones Paraninfo

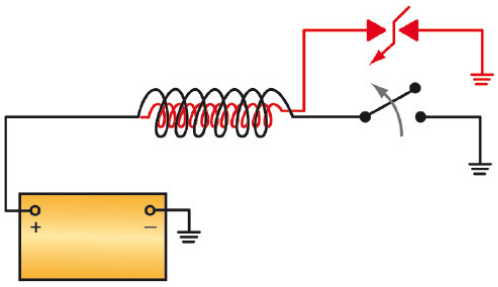


Figura 9.5. *Interrupción de circulación de corriente por el circuito primario.*

primario y en el arrollamiento secundario. Al desaparecer el campo magnético, se produce una variación del flujo magnético. Cuanto más rápido varíe dicho flujo y dependiendo del número de espiras del arrollamiento secundario, se inducirá en este una f.e.m. capaz de generar el salto de chispa. Más adelante se explicará cómo la instalación de un condensador en paralelo con el ruptor produce una variación más rápida del flujo magnético con el fin de conseguir la tensión necesaria entre los electrodos de la bujía.

Recuerda que...

La f.e.m. inducida en el arrollamiento secundario se genera al variar el flujo magnético, es decir, al abrir y cerrar el ruptor. Cuando el ruptor tiene los contactos cerrados o abiertos constantemente, no se induce ninguna f.e.m. al no haber variación del flujo magnético.

9.2. Componentes del encendido convencional

En el apartado anterior se ha explicado cómo se transforma la tensión de batería en alta tensión para producir el salto de chispa. Como es lógico, esto no es suficiente para que el motor funcione correctamente, ya que se necesita sincronizar el salto de chispa para que se produzca en el momento óptimo al final de la carrera de compresión, en todos los cilindros. Además, se necesitan dispositivos que modifiquen el momento de encendido en función de las condiciones operativas del motor.

A continuación se van a estudiar los componentes del encendido clásico, convencional o por batería, mostrados esquemáticamente en la Figura 9.6, que aunque en la actualidad no se utiliza por tener ciertas limitaciones, posee un gran valor didáctico.

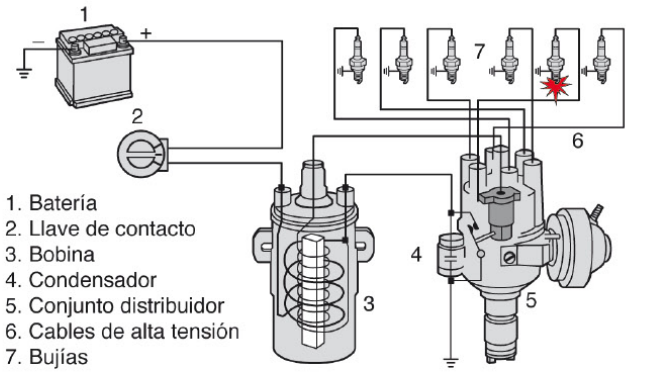


Figura 9.6. *Elementos del encendido convencional.*

9.2.1. Batería

La batería es un acumulador que suministra la energía necesaria para alimentar el circuito primario del sistema de encendido. Su tensión nominal es de 12 V, aunque normalmente es mayor para absorber las pérdidas de energía en el transporte desde la fuente hasta los consumidores.

9.2.2. Llave de contacto

La llave de contacto es un interruptor situado entre la batería y la bobina. Tiene dos funciones principales: evitar la descarga de la batería con el motor apagado y parar el motor cortando el encendido. Por un lado, evita que se descargue la batería a través del circuito primario con el motor parado, ya que si no existiera, si al parar el motor los contactos del ruptor se quedan cerrados, circularía corriente por el circuito primario descargando la batería. Por otro lado, al abrir el circuito primario, se interrumpe el paso de corriente y al no producirse el salto de chispa el motor se para.

9.2.3. Bobina

La bobina de encendido es un transformador elevador de tensión que convierte la tensión de batería en la necesaria para hacer saltar la chispa en la bujía. En la Figura 9.7 puede verse un ejemplo de bobina convencional seccionada. En esta figura se aprecia el arrollamiento primario (1), formado por un número de espiras comprendido entre 100 y 300, fabricadas de cobre y con un diámetro entre 0,5 y 0,8 mm. El arrollamiento secundario (2) se dispone concéntrico al arrollamiento primario y está compuesto por un número de espiras comprendido entre 10 000 y 30 000, fabricadas en hilo fino de cobre con un diámetro de 0,05 a 0,08 mm. La relación entre el número de espiras del secundario y del primario $\left(\frac{N_2}{N_1}\right)$ puede oscilar entre 50 y 150. En

© Ediciones Paraninfo

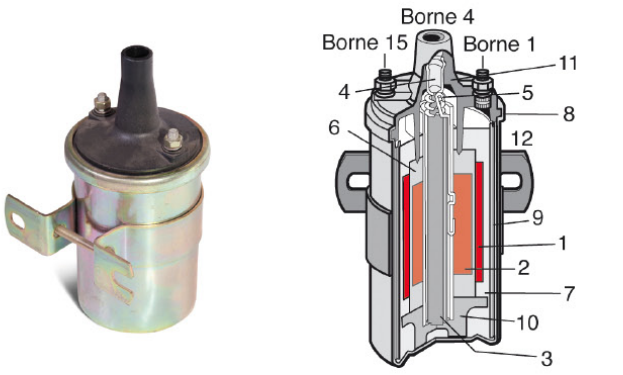


Figura 9.7. *Sección de una bobina de encendido.*

el centro de la bobina y dentro del arrollamiento secundario se encuentra el núcleo (3), compuesto de chapas de material ferromagnético capaz de concentrar las líneas de fuerza del campo magnético. La alimentación del arrollamiento primario se establece por el borne 15, + o B, que es un positivo de batería después de la llave de contacto. La salida del arrollamiento primario se produce por el borne 1, − o D, que es la masa que conecta y desconecta el ruptor. La salida de alta tensión del arrollamiento secundario (4) tiene lugar a través del borne 4, que tiene una conexión interna sobre contacto de muelle (5). Ambos arrollamientos tienen un punto de conexión común, conocido como PC, donde coinciden el final del arrollamiento primario y el inicio del secundario. El aislamiento de los arrollamientos primario y secundario se realiza interponiendo capas de papel aislante (6). Con el fin de mantener el conjunto sujeto dentro de la carcasa se introduce una masa de relleno (7), que suele ser un baño de aceite, resina o asfalto. Este baño de aceite sirve de aislante y de refrigerante, ya que si la bobina se calienta en exceso se pierde calidad de chispa. La bobina se aloja en el interior de una caja (8) cuyas paredes interiores están revestidas de unas chapas magnéticas (9) que evitan que el campo magnético se disperse y reducen las pérdidas de energía. La parte inferior de la bobina está sostenida por un cuerpo aislante (10) y la parte superior se cierra con una tapa aislante (11). Por último, el conjunto se atornilla a la carrocería gracias a la abrazadera metálica (12), que además ayuda a disipar el calor. Las bobinas tienen una polaridad que hay que respetar ya que el sentido de los arrollamientos es tal que en el momento de producirse la alta tensión el electrodo central de la bujía resulte negativo con respecto a la masa, para que los electrones circulen del electrodo central al de masa, estableciéndose el arco eléctrico más fácilmente.

9.2.4. Condensador

Cuando se abren los contactos del ruptor, se interrumpe el paso de corriente por el circuito primario, disminuyendo el campo magnético, induciéndose una corriente en el arrollamiento secundario y, por tanto, una f.e.m. en el mismo. Pero el valor de esta f.e.m. depende de la rapidez con la que desaparezca este campo magnético. Con los elementos presentados hasta ahora, al abrir los contactos del ruptor se produce un arco eléctrico entre ellos, dado que en el circuito primario se ha inducido una tensión de unos cientos de voltios. Esta circunstancia provoca dos consecuencias: el deterioro de las superficies de contacto del ruptor y el aumento del tiempo que tarda en desaparecer el campo magnético del primario, reduciendo la f.e.m. inducida en el secundario.

Para evitar esto, se instala un condensador en paralelo a los contactos del ruptor. El condensador (Figura 9.8) se compone de un conjunto de láminas de material conductor, como estaño por ejemplo, aisladas entre sí por un material aislante de la electricidad o dieléctrico, como papel o cartón. El conjunto está sumergido en un baño de aceite y contenido en una carcasa metálica.

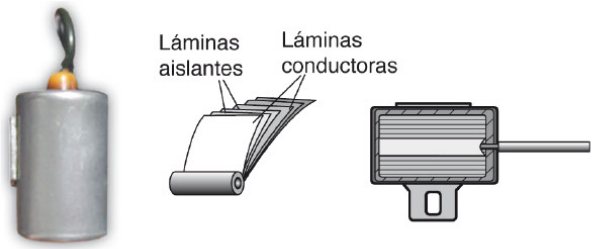


Figura 9.8. *Condensador de encendido.*

Cuando se abren los contactos del ruptor, el condensador se carga hasta alcanzar el valor de tensión inducida en el primario, del orden de unos cientos de voltios. Durante este periodo de carga, el condensador absorbe toda la corriente y es tiempo suficiente para que los contactos del ruptor puedan interrumpir el paso de corriente sin que salte un arco eléctrico entre ellos. Con esto se consigue proteger los contactos y cortar muy rápidamente la corriente del primario, variando el flujo magnético también de forma casi instantánea (del orden de 0,1 ms) y consiguiendo una mayor tensión inducida en el secundario.

Recuerda que...

Cuando se aplica una diferencia de potencial entre los terminales de un condensador, este permite la circulación de corriente hasta que se cargan sus placas. Una vez cargado, la diferencia de potencial entre las placas es la misma que la de la fuente de tensión y el condensador se comporta como un circuito abierto, es decir, no deja circular corriente a través de él.

© Ediciones Paraninfo

Hay que elegir bien el valor de la capacidad del condensador, que suele oscilar entre los 0,2 y los 0,3 microfaradios (μF). Si no se elige bien este parámetro, los contactos del ruptor se pueden picar. Una capacidad excesiva provoca un abultamiento en el contacto negativo o yunque y un agujero en el positivo o martillo. Una capacidad insuficiente provoca lo contrario.

9.2.5. Conjunto distribuidor

El conjunto distribuidor está formado por varios elementos principales. En la Figura 9.9 puede apreciarse un distribuidor completo y su despiece. En la parte superior se encuentra la tapa del distribuidor (1), dentro de la cual está el dedo, pipa o rotor (2). Por debajo de la pipa se ubica el mecanismo de avance centrífugo (3) y la placa soporte del ruptor (4), que alberga al ruptor (5) y al condensador (6), aunque este puede instalarse en el exterior del conjunto. El mecanismo de avance por carga (7) queda, en parte, fuera del conjunto. El eje del distribuidor (8) es accionado por el motor y tiene una relación de transmisión con respecto al cigüeñal de 1/2, es decir, que por cada vuelta del cigüeñal, el distribuidor gira media.

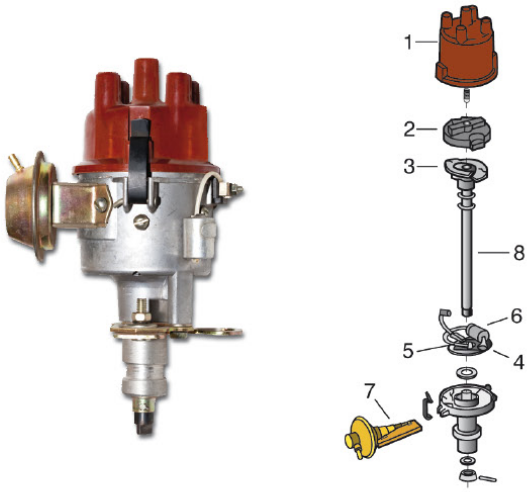


Figura 9.9. *Conjunto distribuidor.*

El distribuidor es movido por el motor, normalmente a través del árbol de levas, aunque hay otros casos en los que es movido a través de otros elementos, como la bomba de aceite, por ejemplo. Cuando el árbol de levas se sitúa en el bloque, el mecanismo de acoplamiento árbol de levas-distribuidor es por medio de engranajes con dentado oblicuo, para transmitir el movimiento entre dos ejes perpendiculares, el del árbol de levas y el del distribuidor. Cuando el árbol de levas va en cabeza, el mecanismo de acoplamiento es mediante dos garras que tiene el eje del distribuidor, insertados en dos ranuras del árbol de levas. La Figura 9.10 muestra estas dos formas de acoplamiento.

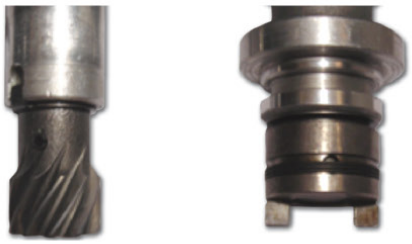


Figura 9.10. *Mecanismos de acoplamiento del distribuidor: a través de engranajes (izquierda) o a través de garras (derecha).*

A continuación se va a describir el funcionamiento de los elementos principales del distribuidor.

- **Ruptor y leva:**

Anteriormente se ha visto que es necesario un ruptor que interrumpa la corriente del circuito primario para producir la alta tensión de encendido. Pero como es lógico, el momento de encendido ha de estar sincronizado con el movimiento del motor y producirse en un entorno próximo al PMS, antes de llegar a él. Para ello es necesario un elemento, la leva, que movido por el motor actúe sobre el ruptor interrumpiendo la corriente primaria en el momento adecuado.

La leva tiene forma de polígono regular, cuyo número de vértices (redondeados), dependerá del número de cilindros del motor. De esta forma, para un motor de 4 cilindros, la leva tendrá 4 vértices o salientes, para un 6 cilindros, 6, y para motores de un mayor número de cilindros se suele poner un doble ruptor y una leva cuyo número de vértices es la mitad del número de cilindros. Por ejemplo, para un motor de 8 cilindros se dispondrá de un doble ruptor y una leva con 4 salientes. Incluso, para motores de 6 cilindros, un único ruptor es insuficiente para asegurar el correcto cebado de la bobina con los contactos cerrados, por lo que se dispone de dos ruptores y una leva de tres puntas.

El conjunto ruptor-leva es el encargado de dar la orden de encendido. La Figura 9.11 muestra las partes del ruptor y el montaje en el distribuidor con la leva.

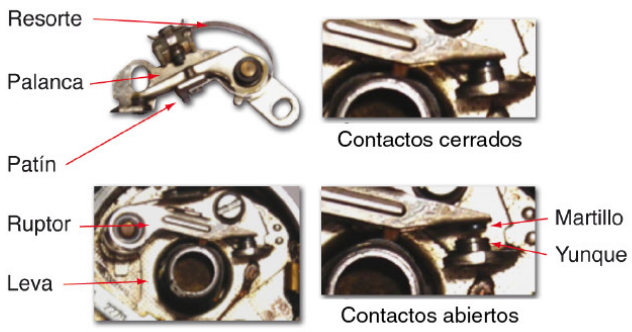


Figura 9.11. *Elementos del ruptor y conjunto ruptor-leva.*

© Ediciones Paraninfo

Actividad resuelta 9.3

Un motor de 4 cilindros y de 4 tiempos está girando a 4500 rpm. Calcular:

a) El ángulo disponible de la leva.

b) El número de ciclos por segundo que realiza el motor.

c) El tiempo que tarda en realizar un ciclo.

d) Si el ángulo de cierre es $\alpha_c = 58°$, calcular el valor Dwell.

e) Para el mismo ángulo de cierre, determinar el tiempo del que dispone la bobina para cargarse en cada cilindro.

f) Realizar el apartado anterior, si el motor gira ahora a 5700 rpm. Comentar los resultados obtenidos.

Solución:

a) Sabiendo que el número de cilindros z es igual a 4:

$$\beta = \frac{360^o}{z} = \frac{360^o}{4} \qquad \beta = 90^o$$

b) Para esta operación hay que tener en cuenta que el motor realiza 1 ciclo en cada cilindro y cada 2 revoluciones de giro.

$$\frac{\text{N.º ciclos}}{\text{s}} = 4500\left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right]\cdot\frac{1}{60}\left[\frac{\text{min}}{\text{s}}\right]\cdot\frac{1}{2}\left[\frac{\text{ciclos}}{\text{rev}\cdot\text{cilindro}}\right]\cdot 4\ [\text{cilindros}] \qquad \frac{\text{N.º ciclos}}{\text{s}} = 150\ \frac{\text{ciclos}}{\text{s}}$$

Con lo cual, el motor realiza 150 ciclos por segundo o lo que es lo mismo, el sistema de encendido tiene que generar 150 chispas por segundo.

c) En el apartado anterior se ha obtenido la frecuencia de los ciclos y ahora se pide el período. Como la frecuencia es la inversa del período, basta aplicar esta relación.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{150\left[\frac{\text{ciclos}}{\text{s}}\right]} \qquad T = 6{,}67\cdot 10^{-3}\ \frac{\text{s}}{\text{ciclo}}$$

El motor tarda $6{,}67 \cdot 10^{-3}$ s en hacer un ciclo, o lo que es lo mismo, 6,67 ms.

d)

$$\text{Dwell} = \frac{\alpha_c}{\beta}\cdot 100 = \frac{58^o}{90^o}\cdot 100 \qquad \text{Dwell} = 64{,}44\ \%$$

e) En este caso basta con hacer una regla de tres, ya que se sabe que para hacer un ciclo completo se tardan 6,67 m y esto equivale a 90°. Con lo cual, para 58° se opera de la siguiente forma:

$$\frac{90^o}{6{,}67\ [\text{ms}]} = \frac{58^o}{x} \quad \Rightarrow \quad x = 4{,}30\ \text{ms}$$

Luego la bobina dispone de 4,30 ms para cebarse.

f) Para calcular el tiempo de carga de la bobina cuando el motor está girando a 5700 rpm se opera de la misma forma:

$$\frac{\text{N.º ciclos}}{\text{s}} = 5700\left[\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right]\cdot\frac{1}{60}\left[\frac{\text{min}}{\text{s}}\right]\cdot\frac{1}{2}\left[\frac{\text{ciclos}}{\text{rev}\cdot\text{cilindro}}\right]\cdot 4\ [\text{cilindros}] = 190\ \frac{\text{ciclos}}{\text{s}}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{190\left[\frac{\text{ciclos}}{\text{s}}\right]} = 5{,}26\cdot 10^{-3}\ \frac{\text{s}}{\text{ciclo}} = 5{,}26\ \frac{\text{ms}}{\text{ciclo}} \qquad \frac{90^o}{5{,}26\ [\text{ms}]} = \frac{58^o}{x} \quad \Rightarrow \quad x = 3{,}39\ \text{ms}$$

Con los resultados obtenidos se observa que a medida que aumentan las revoluciones, el tiempo de carga de la bobina disminuye, por lo que el ángulo de cierre ha de diseñarse de tal forma que sea suficiente para el cebado completo de la bobina al régimen de potencia máxima, por ejemplo. Es posible que a muy altas revoluciones, el tiempo de cebado de la bobina no sea el suficiente para alcanzar la corriente de reposo y al interrumpirla la tensión de encendido sea inferior a la esperada. Por otro lado, a bajas revoluciones, la corriente de reposo se alcanza y se mantiene durante un período largo antes de la apertura de los contactos, lo que hace que la bobina se caliente, disminuyendo su eficiencia. Hay que conseguir un compromiso entre estas dos situaciones, ya que en el encendido convencional el ángulo de cierre es fijo y determinado por la geometría de la leva.

© Ediciones Paraninfo

Cuando la leva está girando, habrá un período de tiempo en el que los contactos estén cerrados y otro, cuando sus salientes ataquen al patín del ruptor, en el que estarán abiertos. Así, a partir de la geometría de la leva se definen dos ángulos. Por un lado el ángulo α_c, que es el ángulo de cierre o ángulo de giro de la leva en el que los contactos estarán cerrados. Por otro lado, α_a, que es el ángulo de apertura o ángulo de giro de la leva en el que los contactos permanecerán abiertos. La suma de estos dos ángulos forma otro, β, que se conoce como ángulo disponible, y es el ángulo del que dispone la leva para marcar un ciclo de encendido completo para un cilindro. La Figura 9.12 muestra estos ángulos.

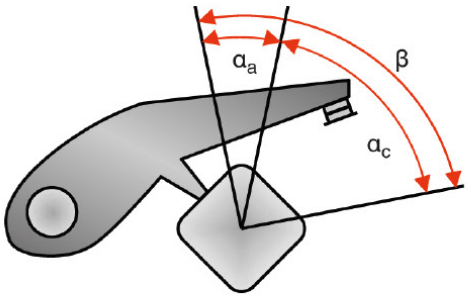


Figura 9.12. *Ángulo disponible, ángulo de cierre y ángulo de apertura.*

A partir de estos ángulos se define un parámetro importante en el sistema de encendido que es el valor Dwell. El valor Dwell es la relación que hay entre el ángulo de cierre y el ángulo disponible, comúnmente expresado en tanto por ciento.

$$\text{Dwell} = \frac{\alpha_c}{\beta}$$

Recuerda que...

La separación entre los contactos del ruptor la especifica el fabricante, pero el valor suele estar comprendido entre 0,3 y 0,4 mm.

- **Pipa y tapa:**

La pipa es un contacto giratorio que reparte la alta tensión de encendido entre las conexiones de la tapa, que a su vez la transportan a cada una de las bujías de los cilindros por medio de los cables de alta tensión. El movimiento de la pipa ha de estar sincronizado con el movimiento del motor, por lo que se instala en la parte superior del eje de la leva. La pipa está fabricada en un material aislante, normalmente resina, y posee en su parte superior una lámina metálica conductora de la electricidad.

La tapa del distribuidor tiene una conexión central, donde llega la alta tensión procedente de la bobina, y tantas conexiones como número de cilindros tenga el motor. En el interior de la conexión central de la tapa se dispone un carboncillo que con la ayuda de un muelle es forzado a estar en contacto permanente con la lámina metálica de la pipa. Cuando se genera el impulso de alta tensión en la bobina, este llega a la pipa a través de la conexión central de la tapa y del contacto de carboncillo. Como en este momento el extremo de la pipa está alineado con la conexión correspondiente al cilindro en el que tiene que saltar la chispa, a través de la lámina superior se transfiere dicho impulso a esa conexión. La Figura 9.13 muestra detalladamente la pipa y la tapa del distribuidor.

El contacto entre el extremo de la lámina metálica de la pipa y la conexión de la tapa no es físico, sino que hay una

Figura 9.13. *Pipa y tapa del distribuidor.*

© Ediciones Paraninfo

distancia disruptiva de entre 0,25 y 0,5 mm, con el fin de evitar el desgaste. Este montaje puede apreciarse en la Figura 9.14. Esta distancia disruptiva implica que para transferir la alta tensión hace falta un salto de chispa.

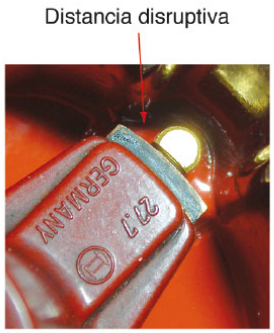


Figura 9.14. *Distancia disruptiva entre la lámina metálica de la pipa y la conexión de la tapa.*

El material de la tapa ha de ser aislante, similar al de la pipa, para evitar derivaciones a masa. En el interior de la tapa se producen arcos voltaicos que provocan gases corrosivos y pueden atacar las piezas metálicas del distribuidor. Para evitar esto y evacuar la humedad se suelen practicar orificios de ventilación. En la parte exterior de la tapa, los bornes de salida de alta tensión suelen ir numerados de forma que si se sabe el sentido de giro del distribuidor se tiene el orden de encendido, como muestra la Figura 9.15. Para respetar este orden de encendido y asegurar el sincronismo con el giro del motor, tanto la pipa como la tapa solo admiten una posición de montaje.

Figura 9.15. *Orden de encendido 1-3-4-2 marcado en la tapa del distribuidor.*

Recuerda que...

- La humedad en el interior de la tapa del distribuidor puede provocar fugas de corriente y la comunicación eléctrica entre los bornes de alta tensión, ocasionando disfunciones como, por ejemplo, dificultar el arranque.
- Una fisura en la tapa del distribuidor también puede ocasionar fugas de corriente y dificultar o impedir el salto de chispa en las bujías.

- **Mecanismo de avance centrífugo:**

Hasta ahora se han visto los elementos necesarios para que salte la chispa en la bujía, pero el momento de encendido ha de adaptarse a las condiciones de funcionamiento del motor, ya sea adelantándose o atrasándose. Dado que la combustión no comienza instantáneamente tras el salto de chispa, hay que establecer un cierto avance del encendido, poco antes de que el pistón llegue al PMS, con el fin de maximizar la presión de combustión, esto se conoce como avance inicial. Este avance, medido en grados del cigüeñal, depende de las características constructivas de cada motor y es el mínimo que ha de tener para asegurar que la combustión se produzca cuando el pistón está en el PMS. La Figura 9.16 muestra el avance inicial.

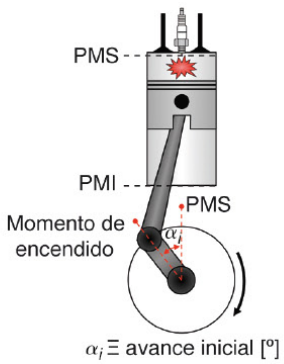


Figura 9.16. *Avance inicial.*

Pero el avance del encendido ha de ser un parámetro dinámico, es decir, que varíe dependiendo de las condiciones de funcionamiento del motor. Es por este motivo por lo que se instala un mecanismo de avance centrífugo, que modifica el avance del encendido en función del régimen de giro del motor, ya que, al aumentar las revoluciones, hay que incrementar el avance del encendido, por disponer de menos tiempo para inflamar la mezcla.

La Figura 9.17 muestra el mecanismo de avance centrífugo de un sistema de encendido convencional. El eje de giro del distribuidor (1) es movido por el motor y con él gira solidariamente el soporte del mecanismo de avance centrífugo (2). El eje del distribuidor se introduce en el interior del eje de la leva del ruptor (3) permitiendo, en principio, que ambos ejes puedan tener un giro independiente. En la parte inferior del eje de la leva se fija la placa base de la leva (4), y en ella los pivotes (5). La placa base de la leva gira solidariamente al eje de la leva. El movimiento relativo entre el eje del distribuidor y el eje de la leva está restringido, por un lado, por los muelles (6), y por otro lado, por los contrapesos (7).

El funcionamiento de este mecanismo queda reflejado en la Figura 9.18. Cuando el eje del distribuidor gira muy rápidamente, también lo hace el soporte del mecanismo de avance centrífugo (1). En estas circunstancias, los contrapesos (2)

© Ediciones Paraninfo

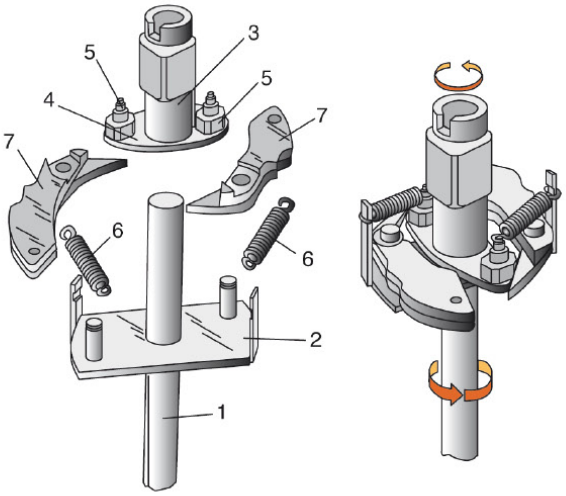


Figura 9.17. *Elementos del mecanismo de avance centrífugo.*

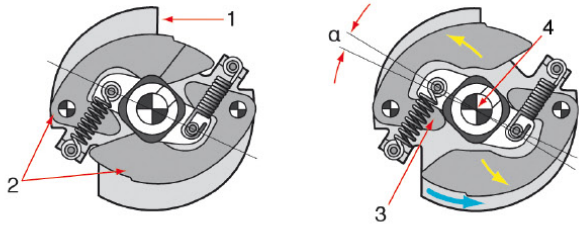


Figura 9.18. *Funcionamiento del mecanismo de avance centrífugo. Arriba: en reposo. Abajo: en movimiento.*

tienden a separarse por efecto de la fuerza centrífuga generada por su velocidad de giro. Debido a esto, hacen presión sobre la placa base de la leva, en la zona de contacto (3), haciendo que el eje de la leva (4) se desfase un cierto ángulo de avance (α) con respecto al eje del distribuidor. Hay que notar que el perfil de la zona de contacto (3) influye, entre otros factores, en la curva de avance centrífugo.

Un ejemplo de la curva de avance centrífugo es la mostrada en la Figura 9.19. Se ha distinguido una curva para el distribuidor y otra para el motor, que son similares salvo en la escala, ya que el distribuidor gira a la mitad de revoluciones del motor y, por tanto, 1 grado de avance en el distribuidor equivale a 2 grados de avance en el motor. Normalmente los grados de avance se refieren siempre al motor. En la gráfica se pueden observar tres zonas. La zona 1 corresponde a la acción del muelle pequeño, ya que como puede observarse en la Figura 9.18, un muelle es más grueso que otro, para poder adaptar el avance de una forma más precisa. La zona 2 es donde a los efectos del muelle delgado se suman los del muelle grueso. En la zona 3 el avance es constante dependiendo de la forma del tope de los contrapesos.

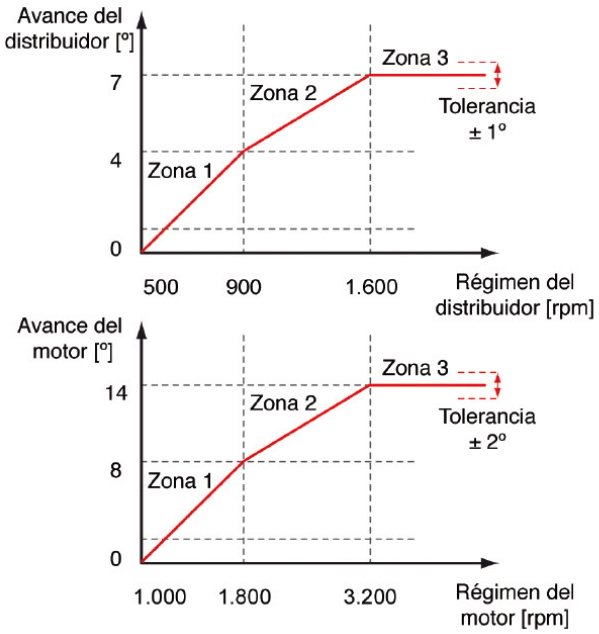


Figura 9.19. *Curvas del mecanismo de avance centrífugo.*

- **Mecanismo de avance por carga:**

En los motores de encendido provocado, la regulación de la carga se controla mediante la mariposa de gases, siendo la posición de esta en cada momento un factor determinante en la eficiencia del llenado de los cilindros. Cuando al motor se le demanda carga parcial, la mariposa de gases está en un punto intermedio entre su máxima apertura y su cierre. Bajo esta circunstancia, se introduce en el cilindro una cantidad de mezcla escasa que hace que las moléculas de combustible se encuentren muy dispersas, como muestra esquemáticamente la Figura 9.20. De esta forma, se tarda más tiempo en producirse y en propagarse la combustión. Por este motivo es necesario otro dispositivo de avance que adapte el momento de salto de chispa en función de la carga del motor.

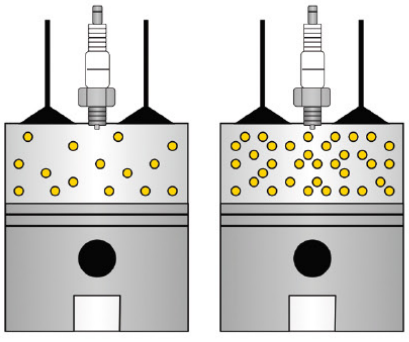


Figura 9.20. *Representación esquemática de la cantidad y distribución de las moléculas de combustible dentro del cilindro: a carga parcial (izquierda) y a plena carga (derecha).*

© Ediciones Paraninfo

Los componentes y funcionamiento del mecanismo de avance por carga están representados en la Figura 9.21. Este mecanismo está formado por una cápsula manométrica (1), cuyo interior está dividido en dos cámaras a través de la membrana impermeable (2), la cual se mantiene en su posición de reposo por la acción del muelle (3). Un tubo conecta el colector de admisión ligeramente antes de la posición de cierre de la mariposa de gases (4). Cuando la mariposa de gases está parcialmente abierta, descubre el orificio por el que se conecta el colector de admisión con la cápsula manométrica, generando una depresión. Esta depresión hace que la membrana venza la fuerza del muelle y, a su vez, por estar unido a ella, tire del vástago (5). Este movimiento del vástago hace girar en sentido de avance a la placa soporte del ruptor (6). En el caso del mecanismo de avance por carga, es el ruptor el que se desplaza con respecto al eje de la leva para conseguir el avance. En el caso extremo de ralentí o mariposa prácticamente cerrada, la membrana no está sometida a depresión, ya que el orificio que comunica el colector con la cápsula está antes de la mariposa de gases. En el otro caso extremo de plena carga o mariposa totalmente abierta, la membrana tampoco está sometida a depresión por estar igualadas, aproximadamente, las presiones antes y después de la mariposa de gases.

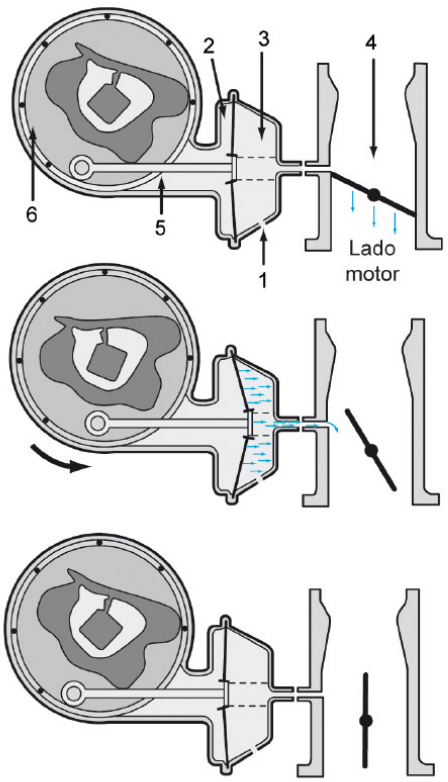


Figura 9.21. *Componentes y funcionamiento del mecanismo de avance por carga.*

La Figura 9.22 muestra un ejemplo de curva de avance por carga, desde el punto de vista de grados de avance según el motor y de grados de avance según el distribuidor. La curva representa dichos grados de avance en función de la depresión generada en el colector de admisión, en milibares.

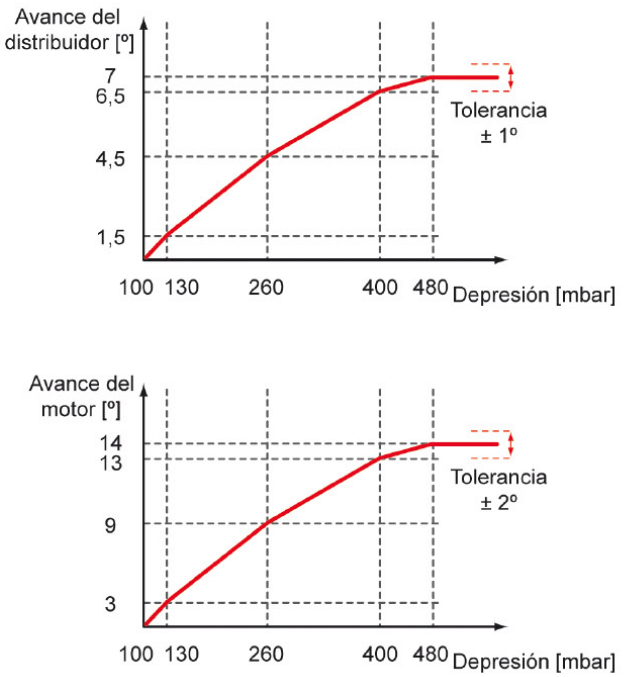


Figura 9.22. *Curvas del mecanismo de avance por carga.*

Hay mecanismos de avance por carga un poco más sofisticados que incluyen, además de un avance, un retardo. Esto se consigue comunicando la otra parte de la cápsula manométrica con el colector de admisión, pero esta vez después de la mariposa de gases tomando como referencia su posición de cierre. Con este sistema se tienen, por tanto, dos cápsulas, una de avance y otra de retardo. El objetivo de tener un retardo en el avance de encendido es disminuir las emisiones contaminantes de los gases de escape, por ejemplo, al ralentí o cuando el motor es arrastrado al bajar una pendiente. Así se produce una combustión más completa, disminuyendo la tasa de hidrocarburos sin quemar.

Recuerda que...

El encendido convencional tiene tres tipos de avance:

- Avance inicial.
- Avance centrífugo.
- Avance por carga.

© Ediciones Paraninfo

En la Figura 9.23 puede verse este mecanismo, donde las dos cápsulas funcionan a la vez y determinan si hay avance, hay retardo o se compensan. El recorrido del vástago en sentido de avance está representado en la figura por la cota A y en sentido de retardo por la cota R, siendo el ángulo desfasado de la placa soporte del ruptor α.

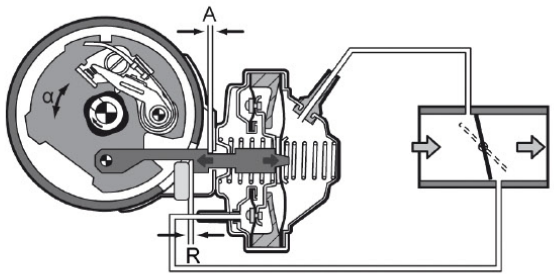


Figura 9.23. *Mecanismo de avance y retardo por carga.*

9.2.6. Cables de alta tensión

Los cables de alta tensión, como los mostrados en la Figura 9.24, son los encargados de transportar la tensión de encendido desde el distribuidor a las bujías.

Figura 9.24. *Cables de alta tensión.*

Los requisitos que deben reunir son resistencia a la humedad, al aceite, al combustible, a la temperatura y resistencia mecánica. Además deben asegurar su aislamiento a pesar de la alta tensión a la que trabajan para evitar las fugas de corriente. Por otro lado, y muy importante en vehículos que tienen equipos electrónicos, deben evitar al máximo la emisión de ruidos parásitos que provocan interferencias. Estas interferencias también pueden afectar al equipo de audio.

Los materiales y composición de los cables son muy variados, dependiendo del nivel de exigencia de los mismos. Algunos ejemplos son los mostrados en la Figura 9.25 y se detallan a continuación:

- **De cobre con resistencia antiparasitaria:** el núcleo cobre es el elemento conductor y recibe un baño de estaño para evitar la corrosión. El núcleo está revestido de silicona para aumentar la rigidez y el aislamiento. El aislamiento exterior puede aguantar temperaturas superiores a los 200 °C y resiste el ataque de los hidrocarburos. Estos cables no tienen resistencia antiparasitaria propia, sino que esta está integrada en forma de vidrio fundido con elementos conductores en la pipa de la bujía y de la bobina. La resistencia del cable varía entre 1 y 6,5 kΩ.
- **Con resistencia de carbono:** el núcleo está constituido por una malla de fibra de vidrio impregnada de carbono y está recubierto por dos capas de silicona, que ofrece rigidez y aislamiento eléctrico, y tejido de fibra de vidrio, que proporciona resistencia mecánica. El aislamiento exterior tiene las mismas propiedades que el caso anterior. La resistencia antiparasitaria oscila entre los 10 y los 25 kΩ por cada metro de cable.
- **Con reactancia inductiva:** el núcleo de estos cables es similar a los de resistencia de carbono, pero ahora, la fibra de vidrio se recubre de una capa de silicona conductora y magnética rodeada de alambre de acero inoxidable. De esta forma, se genera una tensión de inducción debido a la variación del campo magnético en el cable, es decir, el cable funciona como una bobina que almacena energía y después libera. El objetivo es neutralizar la

Figura 9.25. *Materiales y composición de los cables de alta tensión.*

© Ediciones Paraninfo

tensión inductiva a través de otra reactiva, que da nombre a este tipo de cable. Como consecuencia, la resistencia varía en función de las revoluciones del motor. El resto de materiales de recubrimiento cumplen la misma función que en los casos anteriores. A modo de referencia, la resistencia toma un valor comprendido entre los 2 y los 8 kΩ por cada metro de cable.

Para evitar las fuentes de ruido parásito se pueden emplear otros dispositivos, como condensadores antiparasitarios o el blindaje metálico de algunos elementos.

9.2.7. Bujías

Las bujías son las encargadas de provocar la inflamación de la mezcla de combustible y aire en el interior del cilindro a través del arco eléctrico o salto de chispa generado entre sus electrodos.

La tensión de encendido se define como la tensión necesaria para que se produzca el arco eléctrico entre los electrodos de la bujía. La distancia disruptiva que antes era aislante se ioniza, volviéndose conductora. Pero la tensión proporcionada por el sistema de encendido supera a la tensión de encendido. Por tanto, se tienen dos tensiones: la disponible V_D y la de encendido V_E. La diferencia entre ambas se denomina tensión de reserva V_R.

$$V_R = V_D - V_E$$

Esta tensión de reserva es necesaria para asegurar que se produzca la tensión de encendido, que depende de los siguientes factores:

- **Separación de los electrodos:** la tensión de encendido es directamente proporcional a la separación de electrodos, como muestra la Figura 9.26.
- **Geometría de los electrodos:** como norma general, los electrodos pequeños reducen la tensión de encendido por aumentar la intensidad del campo eléctrico.

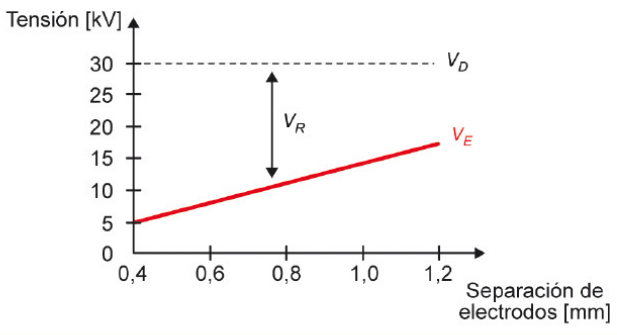


Figura 9.26. *Representación de la tensión de encendido en función de la separación de electrodos.*

- **Material de los electrodos:** porque en función del material, los electrones tendrán mayor o menor facilidad para saltar de un electrodo a otro.
- **Polaridad de la tensión de encendido:** dado que los electrones se desprenden más fácilmente de una superficie caliente que de otra fría, como el electrodo central de la bujía está más caliente, interesa que la polaridad facilite el flujo de electrones desde el electrodo central al de masa.
- **Relación de compresión del motor:** según aumenta la relación de compresión, también lo hace la tensión de encendido. Esto puede compensarse disminuyendo la separación de electrodos.
- **Dosado:** experimentalmente se demuestra que la tensión de encendido mínima se da funcionando con mezcla estequiométrica, relación aire-combustible o factor $\lambda = 1$. Esto puede apreciarse en la Figura 9.27.
- **Turbulencia de la mezcla:** normalmente una elevada turbulencia de la mezcla aumenta la tensión de encendido. Hay que situar la bujía en un punto donde las condiciones de flujo de la mezcla sean óptimas.

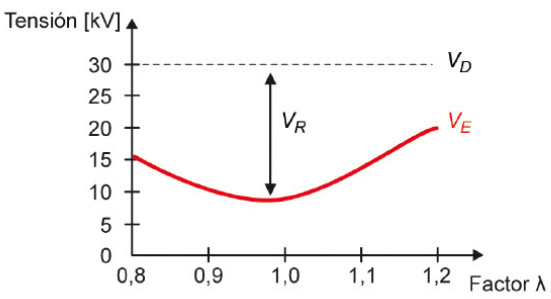


Figura 9.27. *Representación de la tensión de encendido en función del factor λ .*

Las bujías deben ser resistentes a:

- **La electricidad:** deben resistir altas tensiones de encendido sin riesgo de perforación del aislador, aunque en este se acumule carbonilla o aceite, sustancias que pueden volverse conductoras.
- **La temperatura:** el aislador debe mantener su resistencia eléctrica por encima de los 1000 °C. Además deben estar preparadas para el choque térmico, es decir, grandes variaciones rápidas de temperatura. Por otro lado, deben conducir muy bien el calor para evacuarlo desde la zona de la cámara de combustión a la culata.
- **Las tensiones mecánicas:** tanto a las debidas a la presión de los gases, pudiendo superar los 50 bar, como a las debidas a la instalación de la bujía, por el par de apriete y conexiones.

© Ediciones Paraninfo

- **Los ataques químicos:** dada la temperatura que alcanzan y los gases de combustión en contacto, se pueden producir compuestos corrosivos que deterioren las bujías.

La estructura de una bujía de encendido es la mostrada en la Figura 9.28 y en ella se distinguen las siguientes partes:

- **Conexión:** está normalizada y es donde se conecta el cable de alta tensión o la salida de una bobina individual. Puede estar formado por un tornillo y una tuerca con la forma de la conexión o constituir una sola pieza.
- **Aislador:** es de un material cerámico, normalmente óxido de aluminio (Al_2O_3), de elevada densidad. Su misión es aislar el electrodo central. Debe tener una elevada conductividad térmica para poder transmitir con facilidad el calor, así como resistencia mecánica y al ataque químico. La parte superior está vitrificada para conseguir un acabado superficial liso que evite la acumulación de humedad y suciedad, que podrían ocasionar descargas disruptivas.
- **Barreras contra las corrientes de fuga:** están labradas en la parte exterior del aislador y su función es evitar descargas de alta tensión a la masa del vehículo, aumentando el trayecto que tendría que recorrer la corriente y, por tanto, incrementando la resistencia eléctrica. Aseguran que la descarga de alta tensión recorre el trayecto más corto, a través del electrodo central.
- **Resistencia antiparasitaria:** el electrodo central está dividido en tres partes, siendo la central una masa vítrea que funciona como resistencia antiparasitaria. Además, esta masa vítrea asegura la estanqueidad entre el electrodo central y el aislador. Por otro lado, ayuda a compensar los diferentes coeficientes de dilatación térmica de ambos elementos.
- **Junta interior con anillo de talco:** las juntas interiores han de resistir la presión de los gases entre el pie del aislador y la carcasa metálica. La utilización de polvos de talco ayuda a mejorar la estanqueidad.
- **Electrodo central:** en las bujías convencionales el electrodo central se fabrica en una aleación de níquel, aunque también puede ser un electrodo compuesto, como el de la Figura 9.28, cuyo núcleo es de cobre para facilitar la conductividad térmica. Su misión es hacer saltar la chispa al electrodo de masa.
- **Carcasa metálica:** ha de poseer una buena conductividad térmica para evacuar el calor de la bujía a la culata. Contiene la rosca que fija la bujía a la culata.

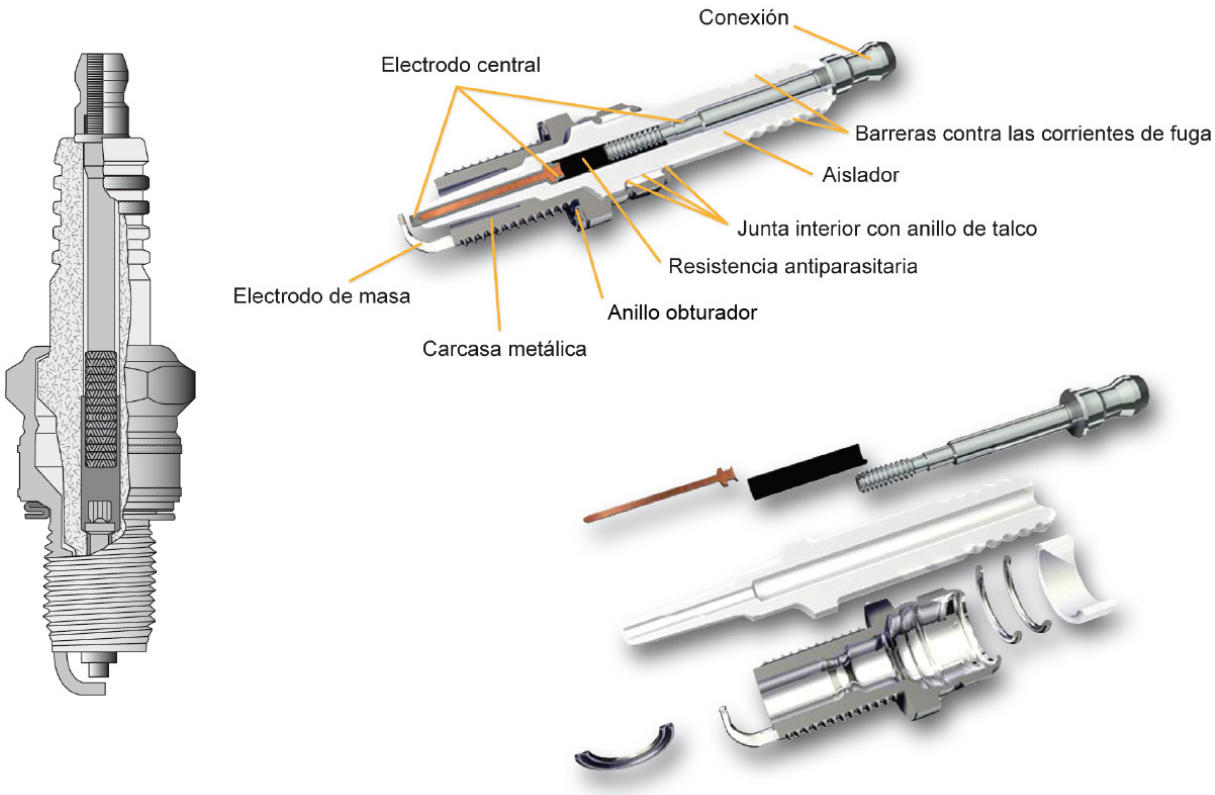


Figura 9.28. *Estructura de una bujía de encendido.*

© Ediciones Paraninfo

- **Anillo obturador:** evita la salida de gases de combustión al exterior. También cumple la función de transferir calor a la culata.
- **Electrodo de masa:** en las bujías convencionales se suele fabricar de una aleación de níquel y su sección es rectangular. Constituye el polo opuesto al electrodo central.

Una forma de clasificar las bujías es por su grado térmico. El grado térmico de una bujía da idea de cuál es su resistencia a la alta temperatura. Debe elegirse un grado térmico adecuado para cada tipo de motor, ya que de él depende la capacidad de la bujía para transferir calor. La Figura 9.29 muestra el modo en que la bujía disipa el calor, teniendo en cuenta que son porcentajes respecto del 100 % acumulado en la zona que está en contacto con la cámara de combustión y que no se tiene en cuenta un 20 % que es refrigerado por el gas de admisión.

La temperatura de trabajo de la bujía debe estar comprendida entre los 400 y los 850 °C. 400 °C es el límite de autolimpieza, ya que por debajo de esta temperatura se acumulan depósitos de carbonilla y poco a poco disminuye la calidad de la chispa. Por encima de los 850 °C la mezcla se inflama prematuramente al entrar en contacto con las partes calientes de la bujía, provocando el autoencendido con el riesgo de dañar gravemente el motor.

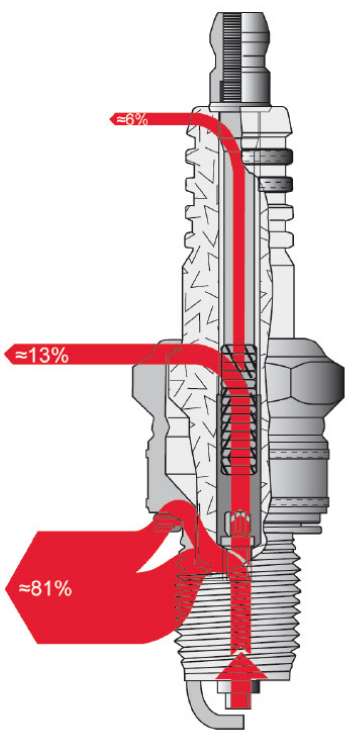


Figura 9.29. *Distribución del calor disipado por la bujía.*

En el grado térmico influyen muchos factores, como por ejemplo el material de los electrodos, la forma de los electrodos y el pie del aislador. Si se toma este último factor, las bujías se pueden clasificar en:

- **Calientes o de grado térmico alto:** el pie del aislador es largo y el calor tiene que recorrer un gran camino desde la zona de absorción a la zona de cesión, por lo que tiene poca capacidad de evacuarlo. Este tipo de bujías es adecuado para motores de baja compresión, poca potencia y reducidas temperaturas de la cámara de combustión.
- **Intermedias o de grado térmico medio:** el pie del aislador es un poco más corto que en el caso anterior, mejorando la capacidad de evacuar calor. Se emplean para motores de prestaciones medias.
- **Frías o de grado térmico bajo:** el pie del aislador es muy corto y el calor se evacua rápidamente. Se usan para motores de elevada relación de compresión, potentes y que alcanzan altas temperaturas en la cámara de combustión.

La Figura 9.30 muestra la clasificación de las bujías según su grado térmico y pie del aislador, así como su comportamiento térmico en relación con la potencia del motor.

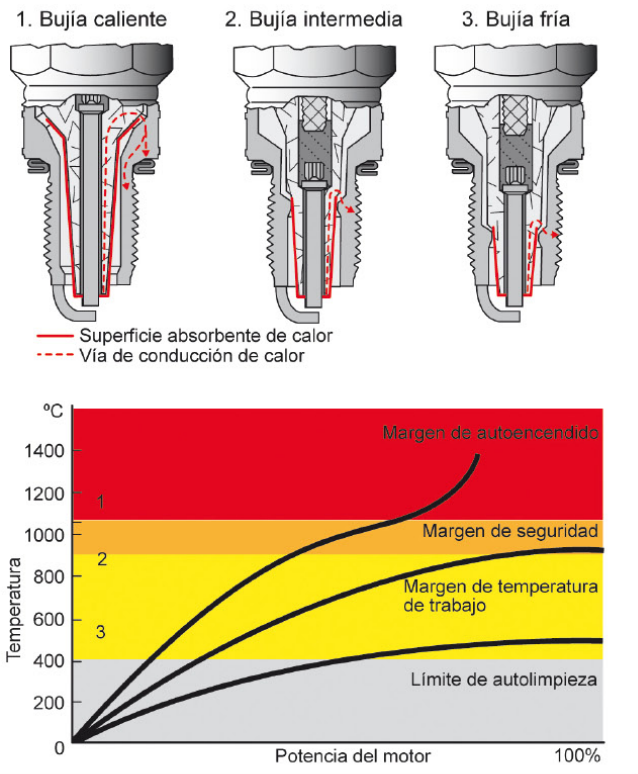


Figura 9.30. *Formas del pie del aislador de bujías con diferentes grados térmicos y comportamiento térmico en función de la potencia del motor.*

© Ediciones Paraninfo

Dependiendo de la forma, número, disposición y material de los electrodos, se pueden encontrar diferentes tipos de bujías, algunos de ellos aparecen listados a continuación y representados en la Figura 9.31:

- **De metales preciosos (1):** se puede emplear plata, platino o iridio. Estos materiales permiten fabricar un electrodo central más fino, disminuyendo la tensión de encendido y prolongando la vida útil de la bujía.
- **Con varios electrodos de masa (2):** al tener varios electrodos a masa, el salto de chispa se produce cada vez en uno de forma aleatoria. Esto prolonga la vida útil de la bujía.

Figura 9.31. *Diferentes tipos de bujías según la forma, número, disposición y material de los electrodos.*

- **Con electrodo central en «V» (3):** al tener el electrodo central una sección en «V», la chispa salta desde los extremos de este electrodo al de masa, consiguiendo una mejor combustión de la mezcla, además de disminuir la tensión de encendido.
- **De chispa al aire frontal (4):** cuando el electrodo de masa se sitúa de forma frontal al electrodo central.
- **De chispa al aire lateral (5):** cuando el electrodo de masa se sitúa de forma lateral al electrodo central.
- **De chispa deslizante (6):** cuando el electrodo de masa se sitúa de forma lateral al electrodo central, pudiéndose solapar parte del aislador. El objetivo es que cuando salte la chispa, esta pase primero por el aislador, limpiándolo de residuos.
- **De descarga semisuperficial (7):** este caso se parece al anterior pero el aislador recubre totalmente el electrodo central. Necesita al menos dos electrodos de masa. Mejora la limpieza del aislador y disminuye la combustión de la mezcla.
- **Mixtas (8):** combinan diferentes tecnologías.
- **De competición (9):** en ocasiones eliminan el electrodo de masa para que no pueda romperse o fundirse. La masa se distribuye de forma anular y la chispa se desliza a ella desde el electrodo central.
- **De iridio para motores de gas (10):** son bujías especiales ya que la combustión de la mezcla del gas y el aire es más difícil de inflamar y aumenta la tensión de encendido. El empleo de iridio reduce esta tensión de encendido y aguanta las elevadas temperaturas de combustión de este tipo de motores.

Hasta ahora se ha descrito el encendido convencional, pero este tiene ciertas limitaciones, las cuales se enumeran a continuación:

- Las partes mecánicas como la leva, el patín del ruptor, los muelles, los pesos centrífugos… están sometidos a desgastes.
- Cuando el motor gira a pocas revoluciones por minuto, los contactos del ruptor abren lentamente y entre ellos se originan arcos eléctricos que forman cráteres en sus superficies. Como consecuencia se dificulta el paso de corriente.
- Cuando el motor gira a muchas revoluciones por minuto, puede producirse el rebote de los contactos del ruptor, disminuyendo la tensión de encendido.
- Para alargar la vida de los contactos, la corriente primaria está limitada a 4 o 5 amperios, ya que si no se quemarían, y esto hace que la tensión inducida en el secundario también esté limitada.

© Ediciones Paraninfo

- Es necesario emplear bobinas llamadas «estándar», que necesitan más tiempo para alcanzar la corriente de saturación, debido a la alta resistencia del arrollamiento primario, comprendida entre 3 y 4 Ω, por lo que también se limita la tensión inducida en el secundario.

Por las razones enumeradas anteriormente, el sistema de encendido convencional ha sufrido diferentes evoluciones, que se van a desarrollar en los apartados siguientes.

9.3. Evoluciones

9.3.1. Encendido transistorizado a contactos

En el encendido convencional, toda la corriente primaria circulaba a través del ruptor. En el encendido transistorizado a contactos se conserva el ruptor para generar la orden de mando del momento de encendido, pero quien interrumpe la corriente primaria es un transistor. De esta forma el transistor funciona como un relé, cuyo circuito de excitación está controlado por el ruptor. Este sistema tiene ventajas frente al encendido convencional, como la posibilidad de aumentar la corriente primaria y que la interrupción de la misma, traducida a la variación de flujo magnético, se produce más rápidamente. La Figura 9.32 muestra esquemáticamente el funcionamiento del transistor como un relé o interruptor, así como un amplificador.

El funcionamiento del transistor se va a explicar basándose en la Figura 9.33, donde se ha tomado como ejemplo un transistor de tipo NPN. El transistor está formado por tres semiconductores, que son cuerpos que en estado puro son aislantes (silicio, germanio…) pero que con contaminaciones de otros cuerpos o sustancias dopantes (antimonio, arsénico, indio…) pueden conducir la electricidad. Por este motivo se llaman semiconductores extrínsecos, ya que necesitan otras sustancias para poder conducir la corriente bajo determinadas condiciones. Si la sustancia dopante es, por ejemplo, antimonio, aumenta el número de electrones y se convierte en un conductor N. Si la sustancia dopante es, por ejemplo, indio, aumenta el número de huecos, es decir se convierte en un elemento con carencia de electrones, pasando a ser un conductor de tipo P.

La Figura 9.33.A muestra la estructura de un transistor NPN, así como su símbolo. Es la unión de dos diodos por su parte positiva o P, donde la circulación de corriente en condiciones normales está impedida en ambos sentidos. Está compuesto de tres zonas con sus correspondientes terminales o patillas:

- **Emisor (E):** es una zona rica en electrones que tiene la finalidad de inyectarlos sobre la región intermedia o base.
- **Base (B):** es la zona que está en medio, rica en huecos, que actúa como regulador de paso de electrones entre el emisor y el colector.
- **Colector (C):** es una región también rica en electrones que recoge gran parte de los mismos, emitidos del emisor a la base.

El diodo de unión entre el emisor y la base se conoce como diodo emisor y el que está entre la base y el colector se llama diodo colector.

Sabías que…

Si el transistor fuese de tipo PNP, el emisor y el colector serían semiconductores de tipo P, la base de tipo N, el símbolo sería igual salvo el sentido de la flecha, que apuntaría hacia la base y sería la unión de dos diodos por su parte negativa o N.

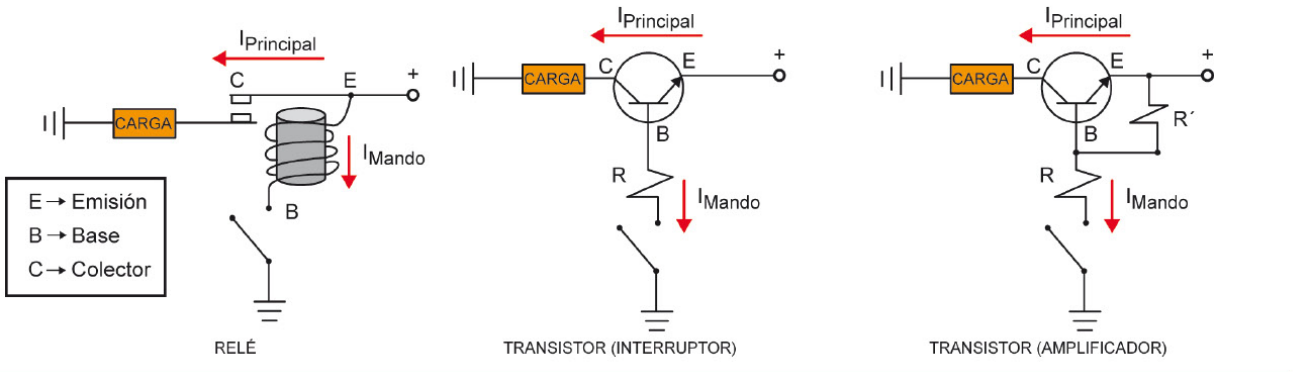


Figura 9.32. *Analogía del funcionamiento de un relé con el de un transistor y funcionamiento como amplificador.*

© Ediciones Paraninfo

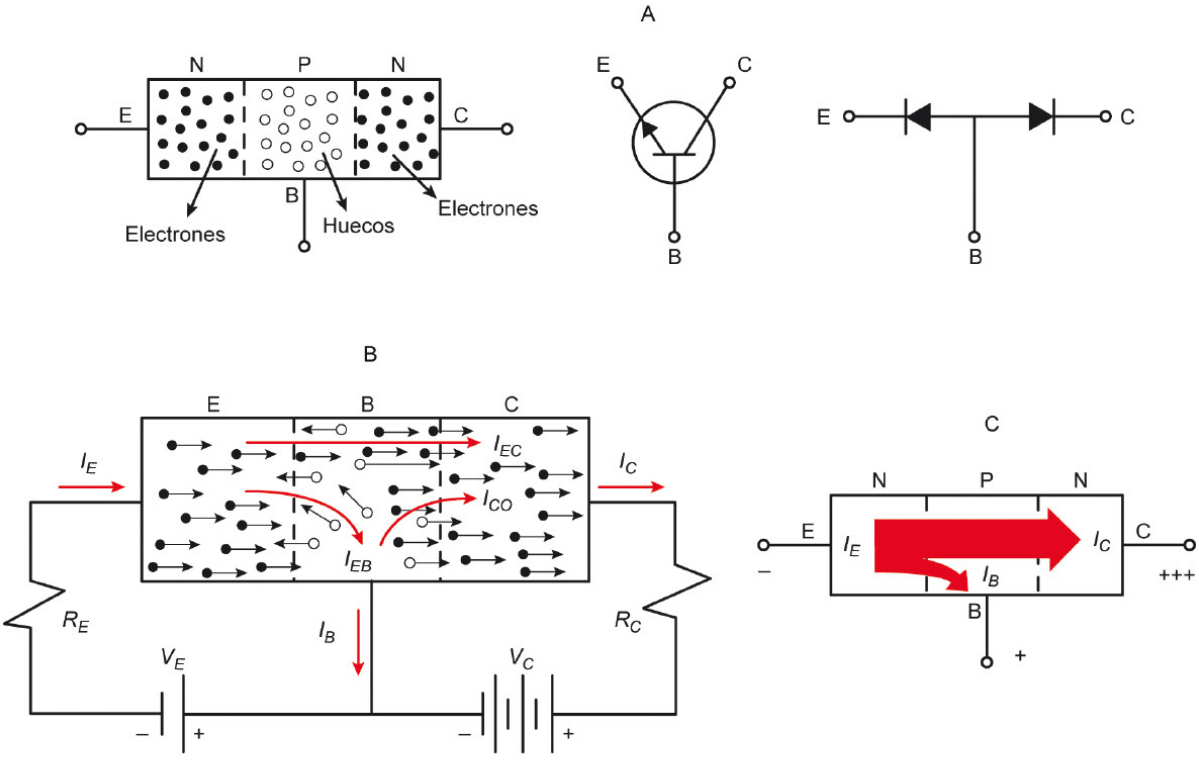


Figura 9.33. *Estructura y funcionamiento de un transistor NPN.*

En la Figura 9.33.B están representadas las componentes de corriente del transistor, que pueden ser:

- **Componentes internas:**
  - I_{EB}: corriente de paso del emisor a la base, compuesta por electrones de la zona del emisor que pasan a la base y huecos de la base que pasan al emisor, es decir, debida a la recombinación de los electrones entrantes del emisor con los huecos de la base.
  - I_{CO}: corriente que surge por efecto térmico debido al calentamiento del semiconductor durante su funcionamiento. Se suma a la corriente I_{BC}.
  - I_{EC}: corriente de paso del emisor al colector, generada por los electrones que han podido atravesar la base.
- **Componentes externas:**
  - I_E: corriente que circula por el terminal del emisor.
  - I_B: corriente que circula por el terminal de la base.
  - I_C: corriente que circula por el terminal del colector.

Hay que aplicar unos valores y polaridades de tensión adecuados entre cada uno de los terminales del transistor para que este funcione.

Siguiendo la Figura 9.33.C, si se aplica una diferencia de potencial entre el colector (con polarización positiva) y el emisor (polarizado negativamente), sometiendo a la base a una tensión V_E ligeramente positiva respecto al emisor, ocurre lo siguiente:

- El diodo formado por la base y el emisor se polariza directamente con una reducida corriente de base I_B, que hace que la mayoría de los electrones del emisor pasen a la base, siendo mayoritariamente atraídos por el colector, dado su gran potencial positivo. Así surge la corriente I_C.
- De esta forma, la corriente del emisor I_E es la suma de la corriente de base más la del colector: $I_E = I_B + I_C$.

Con lo anterior se puede deducir que con una pequeña corriente de base, el transistor puede transmitir una gran cantidad de corriente del emisor al colector. Si se interrumpe la corriente de base, el transistor deja de conducir la corriente del emisor al colector de forma muy rápida.

Para minimizar la captura de electrones en la base y maximizar el paso de estos hacia el colector, la anchura de la base es muy pequeña y se dopa para que la concentración de huecos sea relativamente menor comparada con la de electrones en el emisor. Así, el emisor surte de más electrones a la base que esta de huecos al emisor. Además, la resistencia entre el emisor y la base es algo más grande que la que hay entre la base y el colector. Esto sumado a que V_E es inferior a

© Ediciones Paraninfo

V_C, hace que la mayoría de los electrones que inyecta el emisor puedan atravesar la base y alcanzar el colector.

Sabías que...

De forma aproximada, de los electrones que entran por el emisor, el 96 % alcanzan el colector y el 4 % circulan por la base.

Normalmente, en los sistemas de encendido se suele aplicar un transistor Darlington, que consiste en el montaje de dos transistores en cascada, como muestra la Figura 9.34. Las resistencias R_1 y R_2 son necesarias para controlar las tensiones aplicadas al transistor. Con este montaje se consigue una gran ganancia, es decir, la corriente de base necesaria para que el transistor comience a conducir entre emisor y colector, es mucho menor que la necesaria en un solo transistor. Exteriormente, el encapsulado presenta los mismos tres terminales: emisor, base y colector.

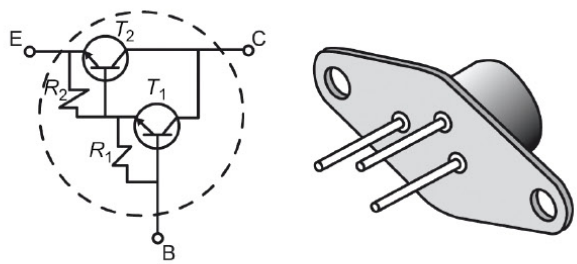


Figura 9.34. *Esquema y aspecto exterior de un transistor Darlington.*

La Figura 9.35 muestra el esquema general de un sistema de encendido transistorizado a contactos, que está conectado a masa por medio de la resistencia R_2 y la resistencia R_1 se encarga de limitar la corriente de base para protegerlo. Se ha simplificado el conjunto del transistor, ya que normalmente está integrado en un circuito electrónico con otros componentes que perfeccionan su funcionamiento, como condensadores que ayudan a interrumpir más rápidamente la corriente, diodos que derivan a masa la extracorriente que se produce en la apertura y cierre del ruptor o resistencias que limitan la intensidad.

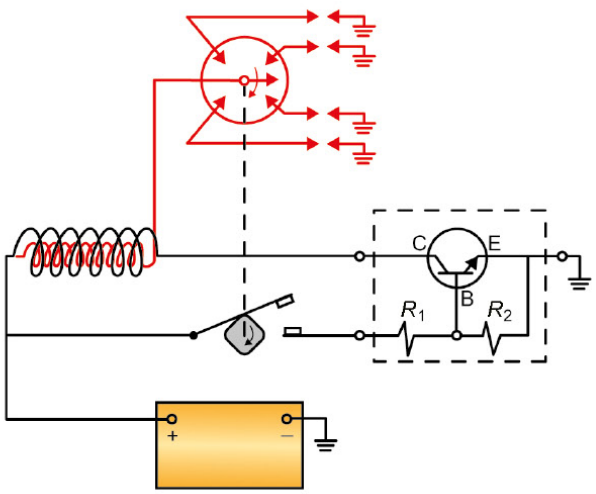


Figura 9.35. *Esquema de un sistema de encendido transistorizado a contactos.*

Aunque el encendido transistorizado introduce muchas ventajas sobre el encendido convencional, aún sigue existiendo la figura del ruptor, que es un elemento mecánico sometido a desgastes que tarde o temprano tiende a fallar. El siguiente paso, pues, será introducir algún elemento que conecte y desconecte la corriente de base del transistor de forma muy rápida, a modo de pulso eléctrico.

Sabías que...

En los encendidos transistorizados se emplean bobinas diferentes a las del encendido convencional, que tienen una menor impedancia en el arrollamiento primario así como un menor número de espiras en el mismo.

9.3.2. Encendido transistorizado con generador Hall

Este sistema de encendido sustituye el ruptor por un generador de impulsos de tipo Hall. El principio de funcionamiento de este generador de impulsos se basa en el efecto Hall, que consiste en que si a través de un semiconductor especial circula una corriente y a su vez se le aplica un campo magnético, entre sus extremos se genera una diferencia de potencial, llamada tensión Hall o U_H.

La Figura 9.36 muestra este fenómeno. Como puede apreciarse, a través del semiconductor circula una corriente

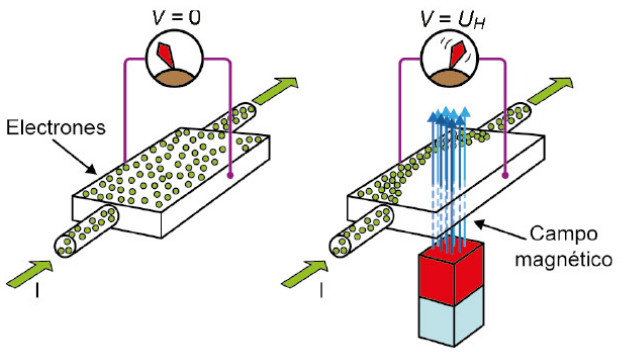


Figura 9.36. *Efecto Hall.*

© Ediciones Paraninfo

(I), y la densidad de electrones es constante en todo su volumen, por lo que la diferencia de potencial entre los extremos perpendiculares a la dirección de la corriente es $I_E = 0$. Si ahora se somete al semiconductor a un campo magnético en una dirección perpendicular a la del sentido de la corriente y a la que une los terminales de medida de tensión, la densidad de electrones varía, concentrándose en el terminal de medida negativo. Esto hace que aparezca una diferencia de potencial, llamada tensión Hall, $V = U_H$.

La Figura 9.37 muestra un distribuidor de encendido donde se ha sustituido el ruptor por un generador de impulsos Hall. El cuerpo del distribuidor (1) conserva los mecanismos de avance centrífugo y por carga. La placa soporte (2) ahora contiene al soporte (3) del circuito Hall (4), que podrá girar accionada por el mecanismo de avance por carga, de la misma forma que lo hacía la placa soporte del ruptor. Frente a la pastilla del semiconductor, que constituye el circuito integrado Hall, se sitúa un imán (5), interponiendo entre ambos elementos un entrehierro (6). El circuito Hall se alimenta y emite la señal a través de los tres cables (7). El equivalente al eje de la leva del ruptor del encendido convencional es la prolongación del eje del distribuidor (8), que permite un cierto giro relativo con respecto al eje de mando gracias al mecanismo de avance centrífugo. Solidarios a la prolongación del eje del distribuidor, giran el tambor obturador (9), fabricado en un material diamagnético, y la pipa (10).

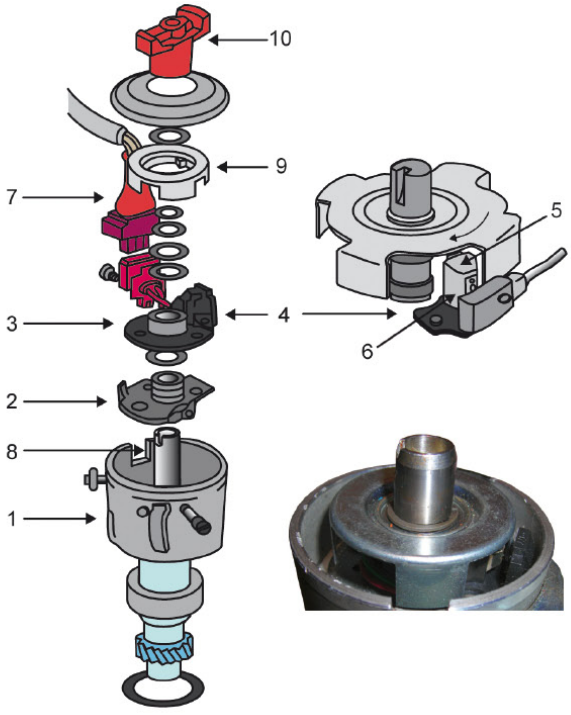


Figura 9.37. *Elementos de un distribuidor de encendido con generador Hall.*

El generador de impulsos Hall se emplea para generar una señal de mando que interrumpa el circuito primario a través del módulo electrónico. La Figura 9.38 muestra su funcionamiento. El circuito integrado Hall tiene tres terminales, uno de alimentación (+), que entrega 12 V o 5 V, dependiendo del modelo, otro a masa (−) y un tercero que es el de señal (0). Cuando entre el semiconductor Hall y el imán se interpone la pantalla del tambor obturador, al ser de un material diamagnético, dispersa las líneas de fuerza y el campo magnético no afecta a la capa Hall, por lo que la tensión entre el terminal de señal y masa es cero ($U_H = 0$), desconectando el circuito Hall. Consecuentemente, la etapa de potencia del módulo electrónico permite la circulación de corriente por el primario de la bobina, al igual que ocurre en el encendido convencional al cerrar los contactos del ruptor, estando el ángulo de cierre delimitado por la anchura de la pantalla. En el momento en que la pantalla abandona el entrehierro, el campo magnético afecta a la pastilla Hall y entre los terminales de señal y masa aparece la tensión Hall. Ahora, el circuito Hall está conectado y el módulo electrónico interrumpe la circulación de corriente por el primario, teniendo lugar el encendido. En un generador Hall, al aumentar el régimen de giro aumenta la frecuencia de la señal, pero la tensión permanece constante.

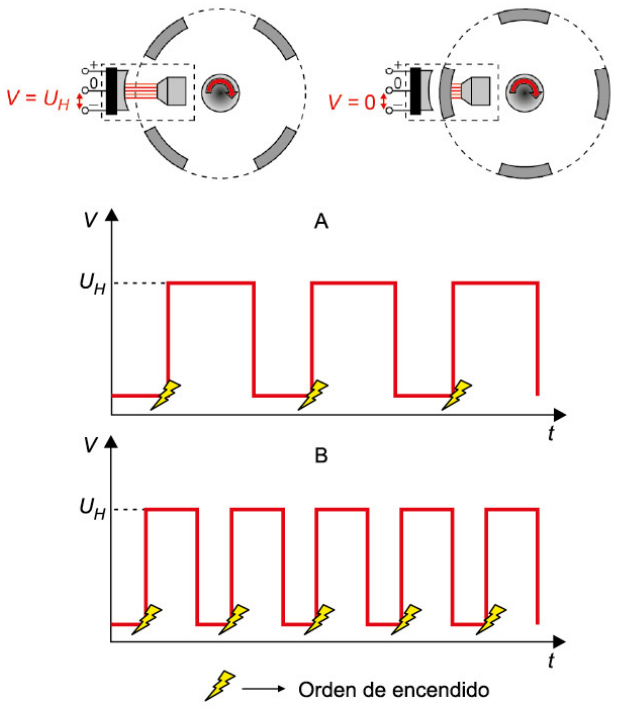
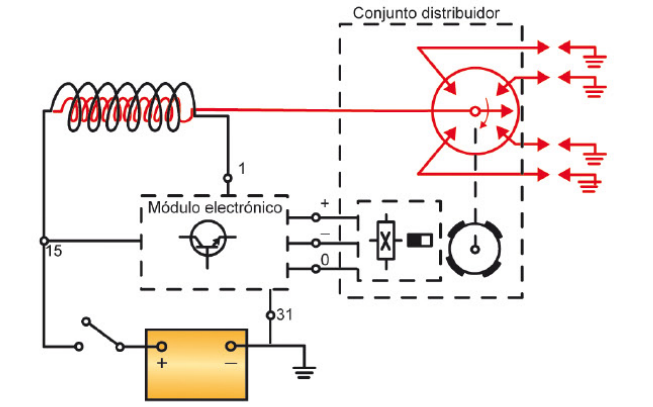
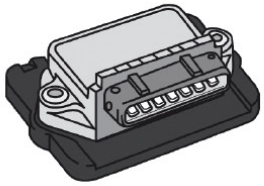


Figura 9.38. *Funcionamiento del generador de impulsos Hall y señal generada por el mismo, al régimen de giro n_1 (A) y al régimen de giro n_2 (B), siendo $n_1 < n_2$.*

En la Figura 9.39 aparece representado el sistema de encendido transistorizado con generador Hall. El circuito del generador de impulsos se encuentra integrado dentro del

© Ediciones Paraninfo





TERMINAL	FUNCIÓN
1	Negativo de bobina
2	Masa del módulo (31)
3	Masa del generador Hall (-)
4	Alimentación del módulo (15)
5	Alimentación del generador Hall (+)
6	Señal del generador Hall (0)
7	Salida hacia el cuentarrevoluciones

Figura 9.39. *Circuito del encendido transistorizado con generador Hall.*

conjunto del distribuidor. Un módulo electrónico alimenta al circuito Hall a través de su terminal positivo (+), cerrándolo a masa a través del negativo (–) y recibiendo los impulsos del generador a través del terminal de señal (0). El módulo electrónico es alimentado con un positivo después de la llave de contacto (15), está conectado a la masa (31) e interrumpe el circuito primario a través del terminal (1) que está en el otro extremo del arrollamiento primario de la bobina. Se ha simplificado el módulo electrónico, representándolo con el símbolo de un transistor, ya que en su interior se encuentra un circuito más complejo, formado por otros componentes electrónicos. La función principal de este módulo es la de tratar y procesar convenientemente la señal que proviene del generador Hall para interrumpir la corriente primaria cuando es preciso. En la figura puede verse un ejemplo del módulo electrónico con sus respectivos terminales.

Este tipo de sistemas de encendido tienen bobinas con un arrollamiento primario cuyo valor óhmico es inferior a 1 Ω, con el fin de disminuir el tiempo de cebado. Dado que el valor de la resistencia del primario es muy pequeño, el módulo electrónico suele tener las siguientes funciones adicionales para proteger la bobina y ofrecer una energía de encendido constante a cualquier régimen:

- **Regulación de la corriente primaria:** con la implementación de este sistema, el valor de la corriente primaria no viene determinado por la resistencia total del circuito primario, sino por un valor controlado en el módulo electrónico.
- **Regulación del ángulo de cierre:** el objetivo de regular el ángulo de cierre es conseguir el mismo valor de corriente en el primario independientemente de las condiciones operativas del motor y de la tensión de la batería.
- **Corte de la corriente de reposo:** con el fin de evitar un calentamiento excesivo de la bobina, si el motor está parado y el contacto activado, tras pasar un segundo se interrumpe el paso de corriente por la etapa final de potencia. Si se arranca el motor se reestablece la corriente primaria.

Sabías que...

Los módulos electrónicos pueden alcanzar temperaturas elevadas, por lo que para disipar bien el calor se unen a alguna zona donde se favorezca la refrigeración interponiendo una pasta que aumenta la conductividad térmica. En muchas ocasiones estos módulos electrónicos incorporan aletas de refrigeración.

9.3.3. Encendido transistorizado con generador inductivo

Este tipo de sistema de encendido es muy parecido al anterior, salvo que el generador Hall es sustituido por un generador de impulsos por inducción.

El generador de impulsos funciona como muestra la Figura 9.40. Un rotor (1) fabricado en material ferromagnético gira arrastrado por el eje de mando del distribuidor y tiene tantos salientes como número de cilindros tiene el motor. Un estator está formado por un imán permanente (2) y una bobina (3) arrollada alrededor de un cuerpo metálico (4). Según la Figura 9.40.A, cuando un saliente del rotor se aproxima al estator, se reduce el entrehierro aumentando el flujo magnético, por lo que se induce en la bobina una tensión positiva. Al final del recorrido del flanco ascendente del rotor se obtiene un valor de tensión positiva máximo. El extremo del saliente del rotor tiene una forma tal que durante el giro hace que no varíe el entrehierro con el estator, como muestra la Figura 9.40.B, por lo que no hay variación del flujo magnético y la tensión inducida desaparece hasta valer cero. Observando la Figura 9.40.C, cuando el diente del rotor enfrenta poco a poco su flanco descendente al estator, aumenta el entrehierro, disminuyendo bruscamente el flujo magnético, produciéndose una tensión inducida negativa en la bobina, hasta alcanzar su valor máximo negativo cuando termina el recorrido de este flanco. Posteriormente, siguiendo la Figura 9.40.D, como el cuerpo central rotor es circular, el entrehierro no varía y al no haber variación del flujo magnético, la tensión inducida desaparece hasta valer cero. Tras este punto el ciclo se repite.

© Ediciones Paraninfo

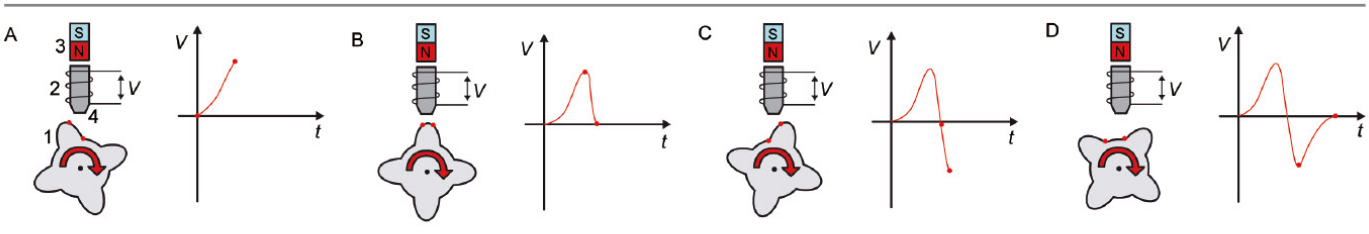


Figura 9.40. *Funcionamiento de un generador de impulsos por inducción.*

Las disposiciones constructivas más habituales del generador inductivo pueden observarse en la Figura 9.41, pudiendo ser:

- **Con bobina exterior:** la Figura 9.41.A muestra esta configuración, donde el imán permanente genera un flujo magnético que afecta a la bobina. El rotor gira movido por el eje de mando del distribuidor y modifica el entrehierro, variando consecuentemente el flujo magnético, por lo que la tensión inducida en la bobina va cambiando a lo largo del tiempo, obteniendo una señal de tensión variable. Puede apreciarse que en el ejemplo de esta disposición, el variador de avance centrífugo afecta solamente a la parte de alta tensión, es decir, a la pipa.
- **Con bobina interior:** el conjunto de imágenes de la Figura 9.41.B muestra la composición de este sistema. Encima de un imán plano circular se sitúa un disco de acero con tantos salientes como número de cilindros tenga el motor. En el interior de ambos elementos se ubica de forma concéntrica la bobina plana. Todo este conjunto forma el estator. El mecanismo de avance por carga actúa sobre el soporte del estator de la misma forma que en el encendido convencional actuaba sobre la placa soporte del ruptor. La prolongación del eje de mando del distribuidor hace girar el rotor con salientes y le permite un cierto giro relativo con respecto a dicho eje gracias al mecanismo de avance centrífugo, que actúa sobre el rotor de la misma forma que en el encendido convencional

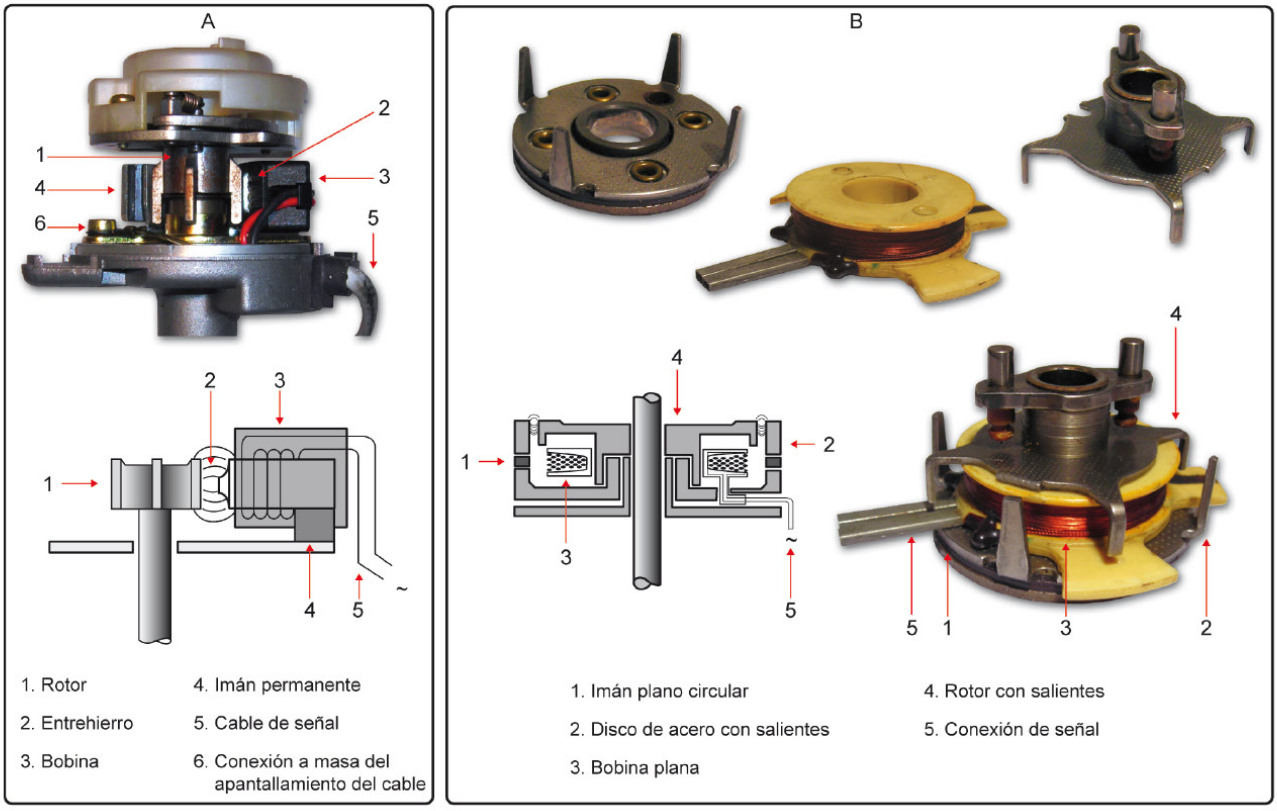


Figura 9.41. *Estructura de un sistema de encendido transistorizado con generador inductivo con bobina exterior (A) y con bobina interior (B).*

© Ediciones Paraninfo

se actuaba sobre la leva del ruptor. Según gira el rotor sus salientes se enfrentan con los del estator y se genera una tensión variable en el tiempo, que es enviada al módulo electrónico a través del cable de señal.

La señal generada se muestra en la Figura 9.42. Al aumentar el régimen de giro, aumenta la frecuencia de la señal y también lo hace la tensión, ya que al variar más rápidamente el flujo magnético, se incrementa la tensión inducida. El módulo electrónico interpretará la orden de encendido cuando la tensión pase por cero en el camino desde el valor máximo positivo al máximo negativo.

En la Figura 9.43 puede verse el esquema eléctrico del sistema de encendido transistorizado con generador inductivo. El generador se encuentra en el interior del conjunto distribuidor y envía al módulo electrónico la señal a través de sus dos terminales (+) y (−). El módulo se alimenta con un positivo después de la llave de contacto (15), está conectado a masa (31) e interrumpe el circuito primario (1), de la misma forma que el módulo del generador Hall. En la figura aparece un ejemplo de módulo electrónico empleado en este tipo de sistema, con sus respectivos terminales. El módulo se encarga de tratar y procesar la señal alterna analógica del generador inductivo, convirtiéndola en un tren de pulsos o señal digital que constituye el mando de corte del circuito primario. Además, suele tener las mismas funciones adicionales que el módulo del generador Hall: regulación de la corriente

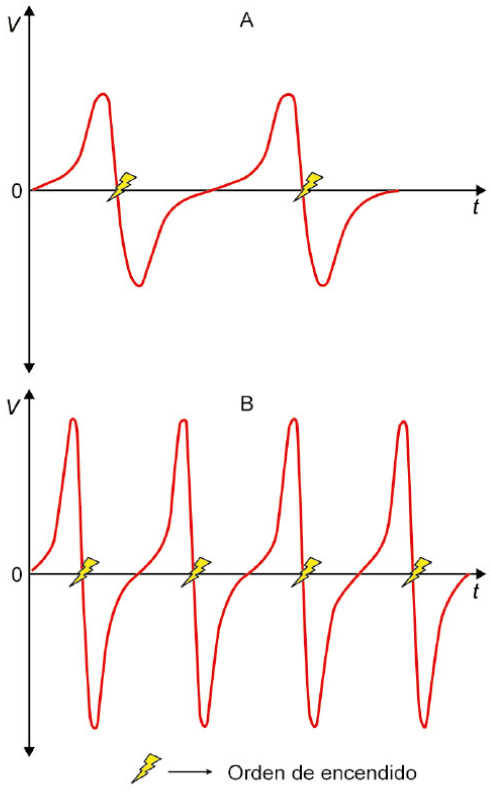
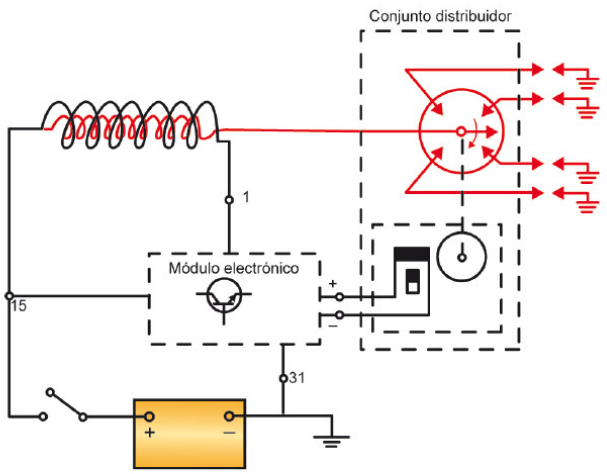
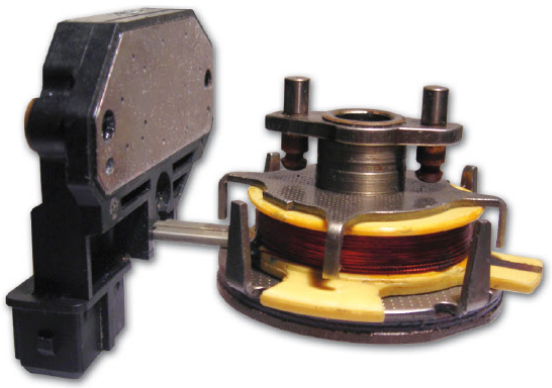
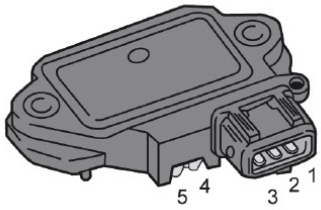


Figura 9.42. *Señal generada por el generador de impulsos inductivo, al régimen de giro n_1 (A) y al régimen de giro n_2 (B), siendo $n_1 < n_2$.*







TERMINAL	FUNCIÓN
1	Negativo de bobina
2	Masa del módulo (31)
3	Alimentación del módulo (15)
4	Señal positiva del generador inductivo (+)
5	Señal negativa del generador inductivo (-)

Figura 9.43. *Circuito del encendido transistorizado con generador inductivo.*

© Ediciones Paraninfo

primaria, regulación del ángulo de cierre y corte de la corriente de reposo.

9.3.4. Encendido electrónico integral

El encendido electrónico integral supone un paso más en la evolución de los sistemas de encendido. Con respecto a los anteriores sistemas se diferencia en que se eliminan todos los dispositivos mecánicos de modificación del avance. Un conjunto de sensores van a informar a una unidad electrónica de control, que tiene grabado el mapa de corrección del avance en función de los parámetros de entrada ofrecidos por dichos sensores, para posteriormente generar la señal de mando de encendido.

En la Figura 9.44 puede apreciarse un esquema general del conjunto. La alimentación del sistema proviene de la batería (1) pasando a través de la llave de contacto (2). La unidad electrónica de control (3) recibe información sobre las condiciones de funcionamiento del motor por medio de diversos sensores como el de velocidad angular y posición angular del cigüeñal (4), presión en el colector de admisión (5), temperatura del motor (6), posición de la mariposa de gases (7)… Con esta información, la unidad de control establecerá el momento justo de encendido interrumpiendo el circuito primario de la bobina (8) y esta enviará la alta tensión al distribuidor (9), que solo se encarga de repartirla a la bujía correspondiente (10).

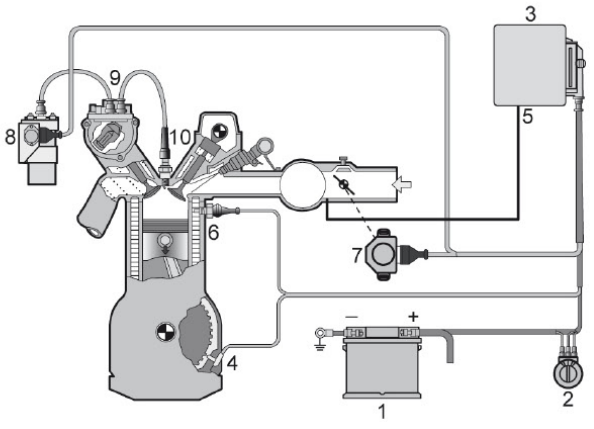


Figura 9.44. *Esquema general del sistema de encendido electrónico integral.*

La Figura 9.45 muestra la información que puede recibir la unidad de control para establecer el momento de encendido y gobernar otros posibles actuadores. No todos los sistemas necesitan las mismas señales y es posible que algunos casos particulares necesiten otras adicionales.

A continuación se detallan los sensores, actuadores y señales indicados en la Figura 9.45:

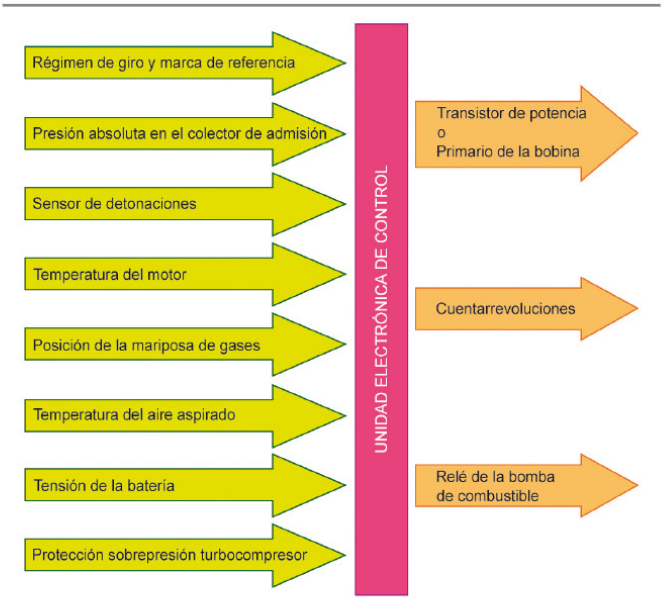


Figura 9.45. *Posibles señales que puede recibir y enviar la unidad de control del sistema de encendido electrónico integral.*

- **Sensor de régimen de giro y marca de referencia del PMS:** la unidad electrónica de control necesita saber cuál es el régimen de giro del motor para calcular posteriormente el avance en función de las revoluciones. Por otro lado, necesita otra información importante, que es la marca de referencia para saber en qué momento hay que dar la orden de encendido. Normalmente, esta marca indica el paso por el PMS del cilindro número 1. Conociendo la posición de uno de los cilindros, resulta fácil saber cuál es la posición del resto y dar la orden de encendido en el momento adecuado. Este sensor, como el mostrado en la Figura 9.46.A, suele ser de tipo inductivo y normalmente toma la información de una rueda almenada situada en el volante de inercia del motor. En ocasiones, se suele disponer un captador para la marca de referencia de PMS y otro para el régimen de giro, como en la Figura 9.46.B. Otra disposición muy comúnmente utilizada es la de emplear el mismo sensor para ambos parámetros, como muestra la Figura 9.46.C. En este último caso, suponiendo un motor de cuatro cilindros, la rueda almenada, también llamada rueda fónica, tiene un cierto número de dientes antes de llegar a las posiciones de PMS de los cilindros 1 y 4, así como 2 y 3, marcadas con un diente y un hueco más anchos. Así, cuando se enfrentan al sensor, aumenta la variación del campo magnético y con ello la tensión inducida. Este pulso de mayor amplitud informa a la unidad de control que un cilindro va a llegar a la posición de PMS un cierto número de dientes más tarde, en el ejemplo de la figura, 11 dientes. En la figura también aparece el aspecto de las señales de este tipo de captadores, que, al ser inductivos, al aumentar el régimen de giro, también lo harán la frecuencia y la amplitud de la señal.

© Ediciones Paraninfo

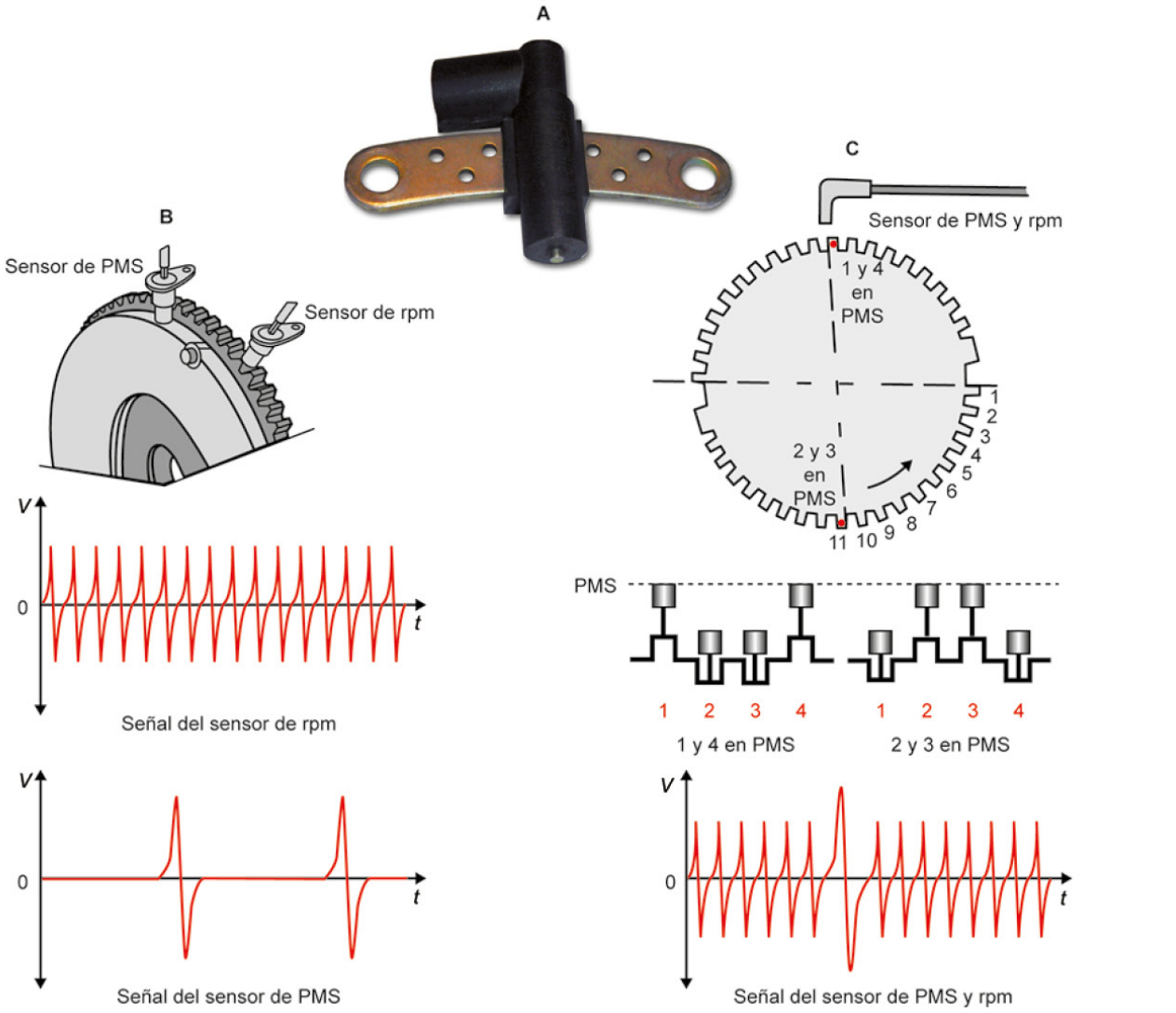


Figura 9.46. *Sensor inductivo (A). Sensor de régimen de giro y sensor marca de referencia del PMS independientes (B). Sensor de régimen de giro y marca de referencia del PMS (C).*

Existen otros sitios donde medir el régimen de giro del motor o la posición angular, como en la polea del cigüeñal, en la polea del árbol de levas, en el propio distribuidor, en el cigüeñal…

Estos parámetros pueden medirse utilizando una rueda formada por segmentos en lugar de dientes, donde un segmento de mayor longitud indica la posición angular del cigüeñal.

Existen otras configuraciones donde se emplean sensores de efecto Hall.

- **Sensor de presión en el colector de admisión:** sirve para medir la depresión en el colector de admisión y poder realizar un ajuste del avance por carga, en función del mapa grabado en la unidad electrónica de control. Este sensor puede estar cerca del colector de admisión o en el módulo electrónico de control, como muestra la Figura 9.47.A, donde puede apreciarse un conjunto formado por un bastidor de aluminio en cuyo interior se aloja el circuito impreso que gobierna la ley de encendido, la bobina, el sensor de presión y las conexiones eléctricas. En este último caso, el sensor se conecta al colector de admisión a través de un tubo de vacío. En la Figura 9.47.B se muestran las partes de este dispositivo para poder explicar su funcionamiento. Una cápsula manométrica (1) está formada por una membrana (2) que se une al núcleo (3) de una bobina (4). La tensión de la membrana depende de la fuerza ejercida por el muelle (5) que a su vez puede ser regulada por el tornillo de ajuste (6). El tubo de depresión (7) conecta la cápsula manométrica con el colector de admisión. En función de la presión en

© Ediciones Paraninfo

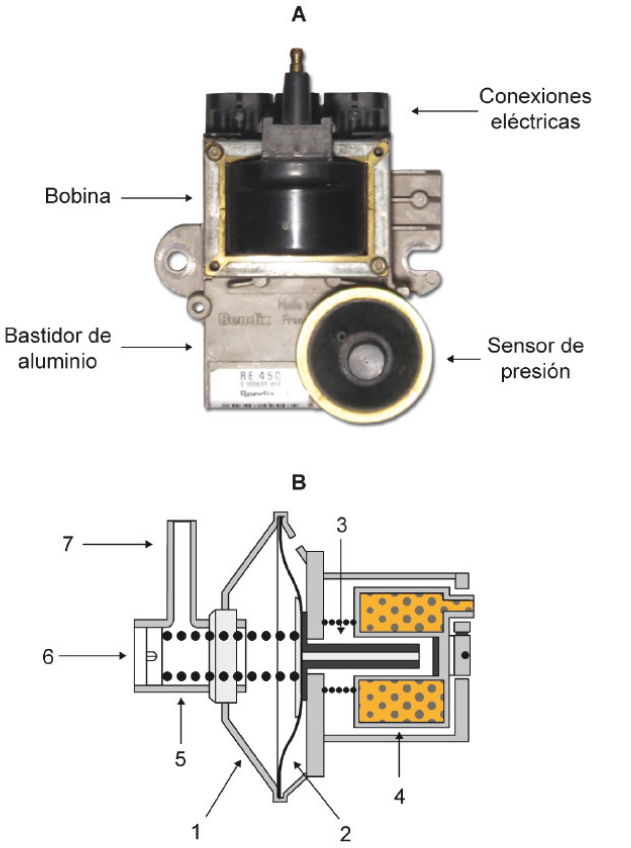


Figura 9.47. *Ejemplo de módulo de encendido electrónico integral (A). Ejemplo del sensor de presión en el colector de admisión (B).*

el colector de admisión, la membrana cambiará su posición y también lo hará el núcleo de la bobina. La bobina es un oscilador cuya frecuencia depende de la posición del núcleo. Así, se obtiene una señal cuya frecuencia varía en función de la carga del motor y es enviada a través de la salida de la bobina hacia la unidad de control para que la procese y realice el avance por carga correspondiente a ese punto de funcionamiento.

Existen otros sensores de presión en el colector de admisión que tienen principios de funcionamiento diferentes, como los piezoeléctricos o los piezorresistivos.

- **Sensor de detonaciones:** una de las formas más comunes de incrementar el rendimiento del motor es aumentar su relación de compresión. Esto conlleva la posibilidad de que se produzcan inflamaciones incontroladas de la mezcla de combustible y aire, provocando una combustión detonante. La combustión detonante hace que se produzca el encendido de la mezcla antes de tiempo, generando una fuerza que se opone al movimiento ascendente del pistón, pudiendo ocasionar graves daños en el motor. Estas fuerzas debidas a las detonaciones se traducen en vibraciones. El sensor de detonaciones se encarga de monitorizar estas vibraciones y enviar una señal a la unidad de control, para que corrija el avance del encendido, disminuyendo o eliminando la combustión detonante. El sensor de detonaciones está formado por un cristal piezoeléctrico que hace de transductor, es decir, convierte un tipo de energía en otra. En este caso, convierte las variaciones de presión sobre el cristal debidas a las vibraciones, en una señal en voltios variable en el tiempo que puede ser interpretada por la unidad de control. La Figura 9.48 muestra el efecto piezoeléctrico, que viene del griego *piezo* (presión). Cuando se ejerce una fuerza sobre el cristal, varía la diferencia de potencial entre sus superficies extremas. Si la fuerza o presión varía en el tiempo, también lo hará la tensión y se tendrá una señal temporal.

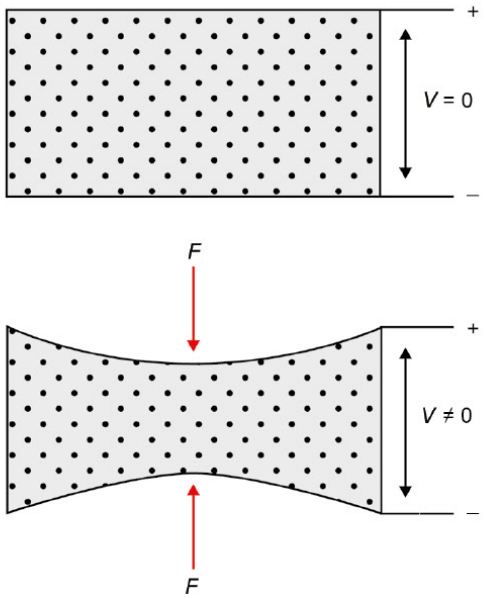


Figura 9.48. *Efecto piezoeléctrico.*

La Figura 9.49 muestra el aspecto externo de un sensor de detonaciones, que debe ubicarse lo más próximo posible a la cámara de combustión. También pueden verse dos ejemplos de señal del sensor con y sin detonaciones. La unidad de control establece los límites de tensión de la señal a partir de los cuales es necesario aplicar la corrección del avance.

Recuerda que...

Para que el sensor de detonaciones funcione correctamente debe estar apretado al par especificado por el fabricante.

© Ediciones Paraninfo

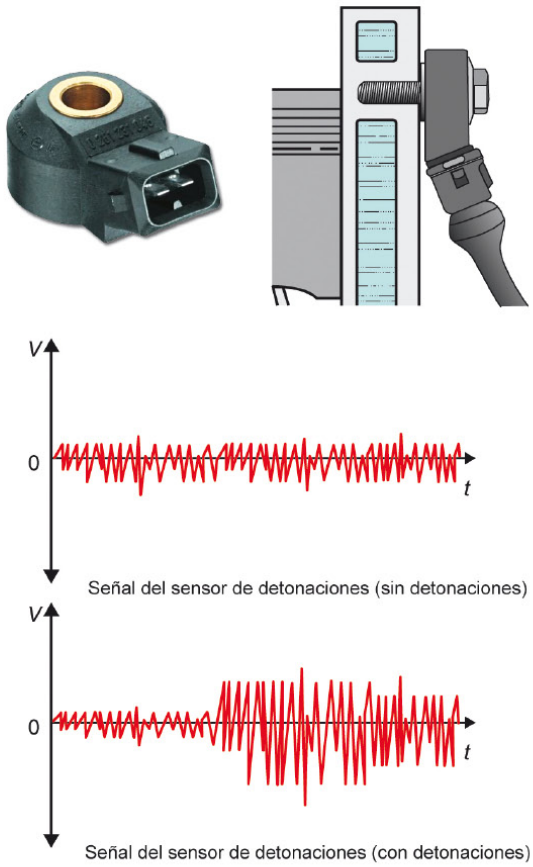


Figura 9.49. *Sensor de detonaciones, ubicación y tipos de señales del mismo.*

Sabías que...

El sensor de detonaciones también se llama detector de picado por el efecto comúnmente llamado de «picado de biela» debido a las detonaciones, ya que este fenómeno genera un sonido audible a modo de cliqueteo.

- **Sensor de temperatura del motor:** el sensor de temperatura del líquido refrigerante informa a la unidad de control de la temperatura del motor para que modifique el punto de encendido en función de este parámetro.
- **Sensor de posición de la mariposa de gases:** el sensor de posición de la mariposa de gases informa a la unidad de control de la posición de ralentí y de plena carga para ajustar el encendido a estas condiciones de funcionamiento. En sistemas más complejos este sensor es un potenciómetro que informa de la posición de la mariposa de gases en cualquier punto de su recorrido.
- **Sensor de temperatura del aire aspirado:** en sistemas más sofisticados se añade un sensor que mide la temperatura del aire aspirado ya que la velocidad de la combustión dependerá de la cantidad de aire aspirado y a su vez de su densidad, variable con la temperatura del mismo.
- **Tensión de la batería:** la información de tensión de batería es necesaria porque, en función de esta, el tiempo de cebado de la bobina será mayor o menor y la unidad de control debe ajustar el ángulo de cierre.
- **Protección de sobrepresión de sobrealimentación:** en algunos vehículos sobrealimentados se dispone de una protección contra un exceso de presión de sobrealimentación. Si la presión excede el valor de tarado del presostato de seguridad, este informa a la unidad de control de esta circunstancia y se produce el corte de encendido. La Figura 9.50 muestra este dispositivo.
- **Transistor de potencia o primario de la bobina:** es el elemento sobre el cual actúa la unidad de control para establecer el momento de encendido. Si la unidad de control incorpora el transistor de potencia, actuará sobre el primario de la bobina. Si el transistor de potencia se sitúa externamente a la unidad, esta cortará el circuito de mando del transistor y a su vez actuará sobre el primario de la bobina.

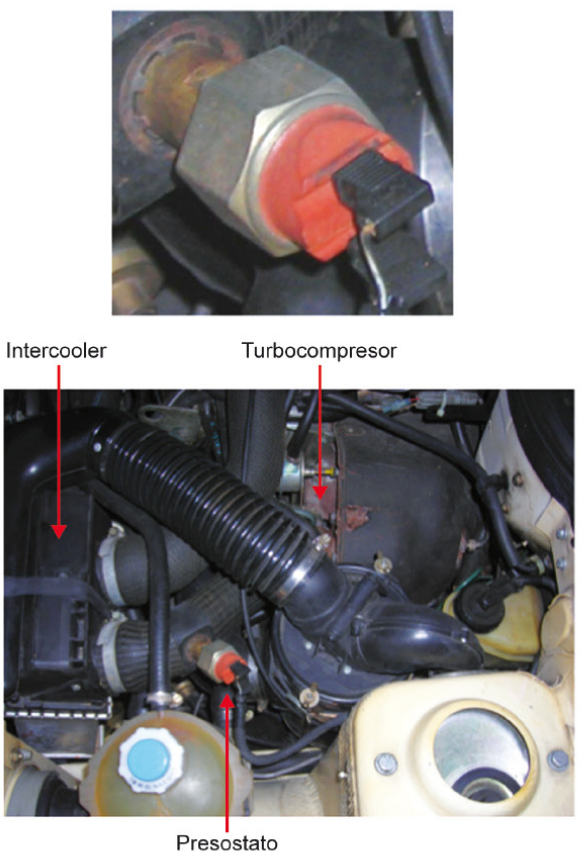


Figura 9.50. *Presostato de seguridad para proteger el exceso de presión de admisión en vehículos sobrealimentados.*

© Ediciones Paraninfo

- **Cuentarrevoluciones:** la señal del sensor de régimen de giro o la de corte del circuito primario de la bobina, puede ser empleada para el cuentarrevoluciones.
- **Relé de la bomba de combustible:** si el vehículo incorpora una bomba de combustible eléctrica, esta suele estar alimentada a través de un relé taquimétrico. Este relé hace funcionar la bomba únicamente cuando recibe señal de revoluciones del motor. De esta forma, la bomba solo funciona cuando el motor está en marcha.

Gracias a esta monitorización de parámetros, la unidad electrónica de control es capaz de determinar el momento de encendido en multitud de condiciones operativas del motor. En la Figura 9.51 aparece representado el avance de encendido en un mapa tridimensional. Si se comparan las posibilidades de avance del encendido electrónico integral (A) con las del convencional (B), puede observarse que el integral ofrece un mapa mucho más preciso para cualquier condición de régimen y carga. Se podría representar cualquier combinación de parámetros, pero a modo de ejemplo, en la Figura 9.51.C puede verse el mapa de un encendido electrónico integral donde se representa el ángulo de cierre en función del régimen de giro y de la tensión de batería.

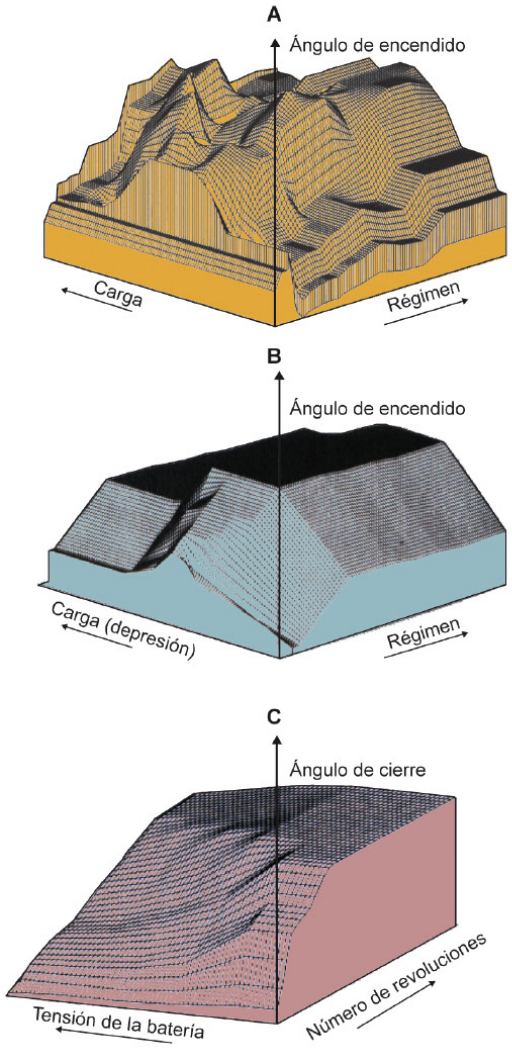


Figura 9.51. *Mapa de avance en función del régimen de giro y de la carga de encendido para un encendido electrónico integral (A), para uno convencional (B) y mapa de ángulo de cierre en función del régimen de giro y de la tensión de batería para un encendido electrónico integral (C).*

Dada la multitud de parámetros que se tienen en cuenta, este tipo de sistema de encendido constituye la base para una gestión conjunta del sistema de encendido y del sistema de alimentación de gasolina en motores con inyección electrónica.

9.3.5. Encendido electrónico sin distribuidor

Este tipo de encendido también se denomina estático, ya que se elimina el último elemento móvil que quedaba en el encendido electrónico integral: el distribuidor. Con esto se obtienen ciertas ventajas, como un mejor control del momento de encendido, una mejor calidad de la chispa, el poder hacer funcionar el motor a un mayor régimen de giro y la reducción de las interferencias eléctricas al disminuir el número de conexiones de alta tensión.

Existen dos tipos básicos de encendidos electrónicos sin distribuidor:

- **Encendido de chispa perdida o simultáneo:** este tipo de encendidos han sufrido a su vez varias evoluciones. Los primeros consistían en una bobina doble, como la mostrada en la Figura 4.52.A y cuyo circuito interno está representado en la Figura 4.52.B, donde un terminal (+) alimenta los arrollamientos primarios y dos negativos (−) cierran a masa los circuitos primarios respectivamente a través de la unidad de control. Tomando como referencia un motor de cuatro cilindros de cuatro tiempos, la bobina doble está compuesta por dos simples, que se encargan de suministrar la tensión de encendido a dos pares de cilindros. Como es sabido, en un motor de cuatro cilindros, los pistones 1 y 4 y 2 y 3 se mueven emparejados. Cada bobina individual establece el salto de chispa a la vez a cada par de estos cilindros. Si se toma por ejemplo el par 1 y 4, el cilindro 1 estará en fase de compresión y el 4 en fase de escape. Como la tensión de encendido depende de la atmósfera reinante en el interior del cilindro, la mayor tensión de encendido será necesaria en el cilindro 1, que está en compresión, del orden de 15 000 V, mientras que en el 4, que está en escape, la tensión de encendido será de unos 500 V. La polaridad del arco voltaico se diseña para que tenga el sentido que más

© Ediciones Paraninfo

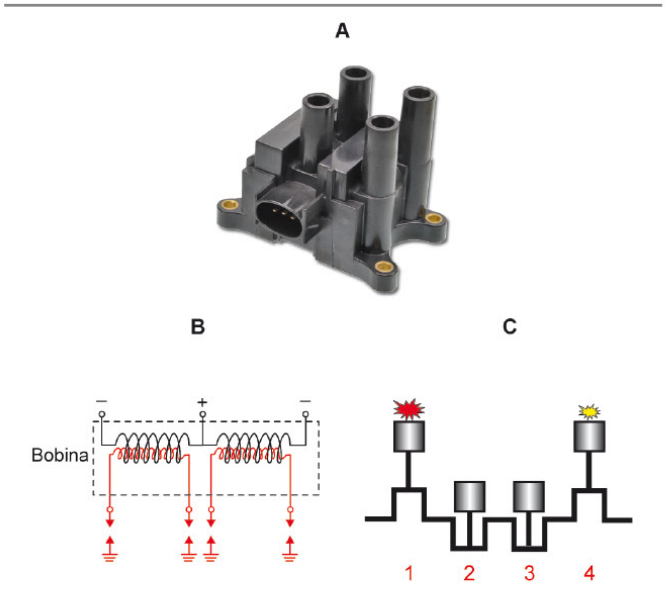


Figura 9.52. *Bobina doble (A), su circuito interno (B) y principio de funcionamiento de un encendido de chispa perdida.*

favorezca el encendido en la fase de compresión. Este proceso se esquematiza en la Figura 4.52.C. Con este sistema es necesario mantener los cables de alta tensión de la bobina a las bujías.

Otro ejemplo de este tipo de sistema de encendido es aquel que incorpora también una bobina por cada dos cilindros, pero la bobina forma un conjunto con una de las bujías y la otra se conecta a través de un cable de alta tensión, como muestra la Figura 9.53.

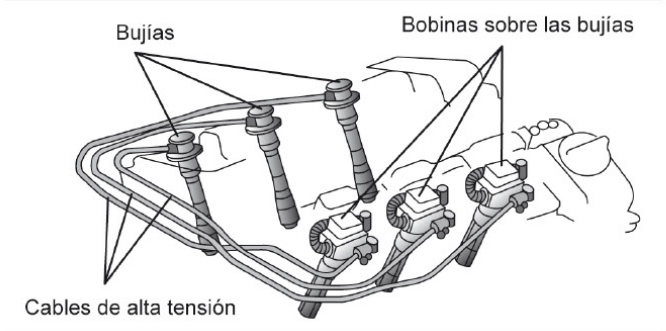


Figura 9.53. *Ejemplo de encendido de chispa perdida en un motor de 6 cilindros en V.*

Sabías que...

Este tipo de encendidos sin distribuidor se conocen como DIS, de *Direct Ignition System* o *Distributorless Ignition System*.

- **Encendido secuencial:** uno de los inconvenientes del encendido simultáneo explicado anteriormente es que no se puede emplear en motores con número de cilindros impar. Por otro lado, en motores con un ángulo de cruce de válvulas elevado, se pueden ocasionar explosiones no deseadas por quemar parte de la mezcla fresca que entra en la fase de escape por el avance de la apertura de la admisión. Esto se evita con el encendido secuencial, donde se utiliza una bobina en cada cilindro, como muestra la Figura 9.54.A, eliminando los cables de alta tensión. Cada bobina individual tiene tres terminales, como se representa en la Figura 9.54.B, uno positivo (+) que alimenta el circuito primario, otro negativo (−) que interrumpe el circuito primario a través de la unidad de control y la masa del arrollamiento secundario. Normalmente, el arrollamiento secundario incorpora un diodo de alta tensión que evita retornos a masa y

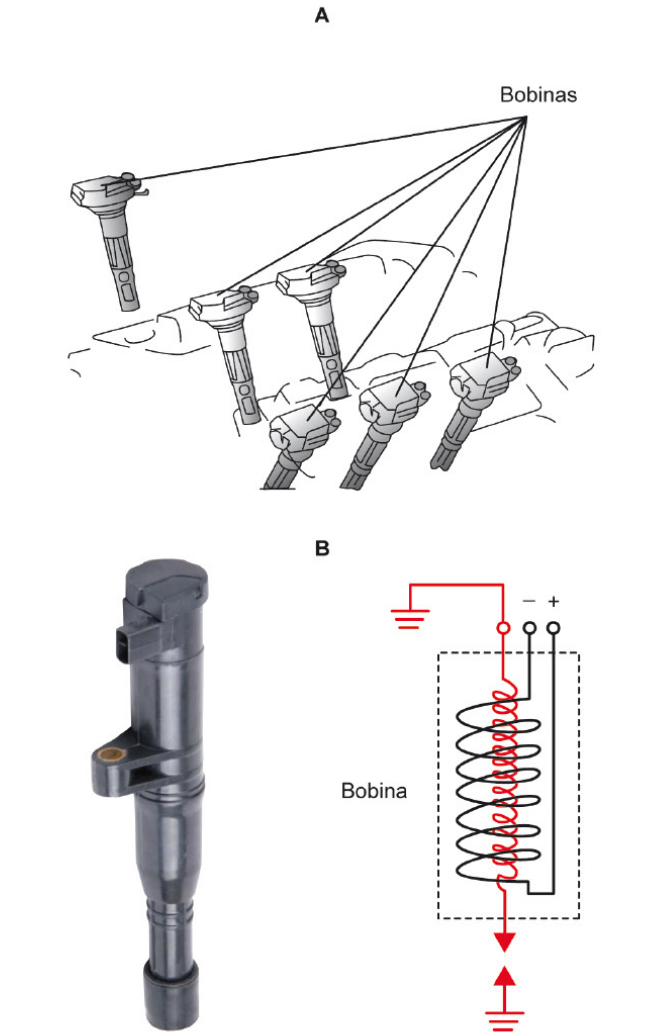


Figura 9.54. *Ejemplo de encendido secuencial en un motor de 6 cilindros en V (A) y aspecto exterior y conexionado de una bobina individual (B).*

© Ediciones Paraninfo

aumenta la rapidez de corte del encendido en este arrollamiento. De esta forma el encendido se produce de manera individual en cada cilindro, saltando una chispa al final de la fase de compresión. Estos sistemas son óptimos para ser empleados también en sistemas de inyección secuencial.

Para poder controlar perfectamente el sistema, la unidad de control suele necesitar una señal adicional para sincronizar el orden de encendido, es decir, un sensor de fase, utilizando la señal del sensor de régimen de giro y PMS para modificar el avance. Estos sensores pueden ser inductivos o de efecto Hall.

En otros sistemas de encendido secuenciales las bobinas forman un paquete conjunto llamado casete, como puede verse en la Figura 9.55.A. En la Figura 9.55.B se representa un caso particular donde el conjunto incorpora un transformador y un condensador. El condensador mejora la rapidez y precisión del momento de encendido y el transformador alimenta a este a unos 400 V. Esta tensión es almacenada en el condensador y se descarga por el arrollamiento primario cuando lo indica la unidad de control, induciéndose en el secundario una tensión que puede llegar a los 40 000 V.

Recuerda que...

El aspecto externo del sistema puede inducir a error, ya que puede haber sistemas de encendido con bobinas individuales o en casete que sean simultáneos o secuenciales.

9.3.6. Otros sistemas

Existen otros sistemas de encendido, como los que emplean captadores ópticos para obtener la señal de PMS, régimen de giro y fase. Este tipo de captadores emplean un haz de luz infrarrojo emitido por un diodo LED, que es recibido por un fotodiodo. Se utiliza el espectro infrarrojo para que no le afecten posibles filtraciones de luz en el sistema. La Figura 9.56 muestra los elementos de este dispositivo. En el cuerpo del distribuidor, bajo la pipa y un guardapolvo que protege el conjunto de la suciedad y la luz, se encuentra un disco obturador, dos diodos LED, dos fotodiodos y el circuito conformador de la señal. El disco obturador metálico es movido por el árbol de mando del distribuidor y presenta una serie de ranuras. Las ranuras que se encuentran

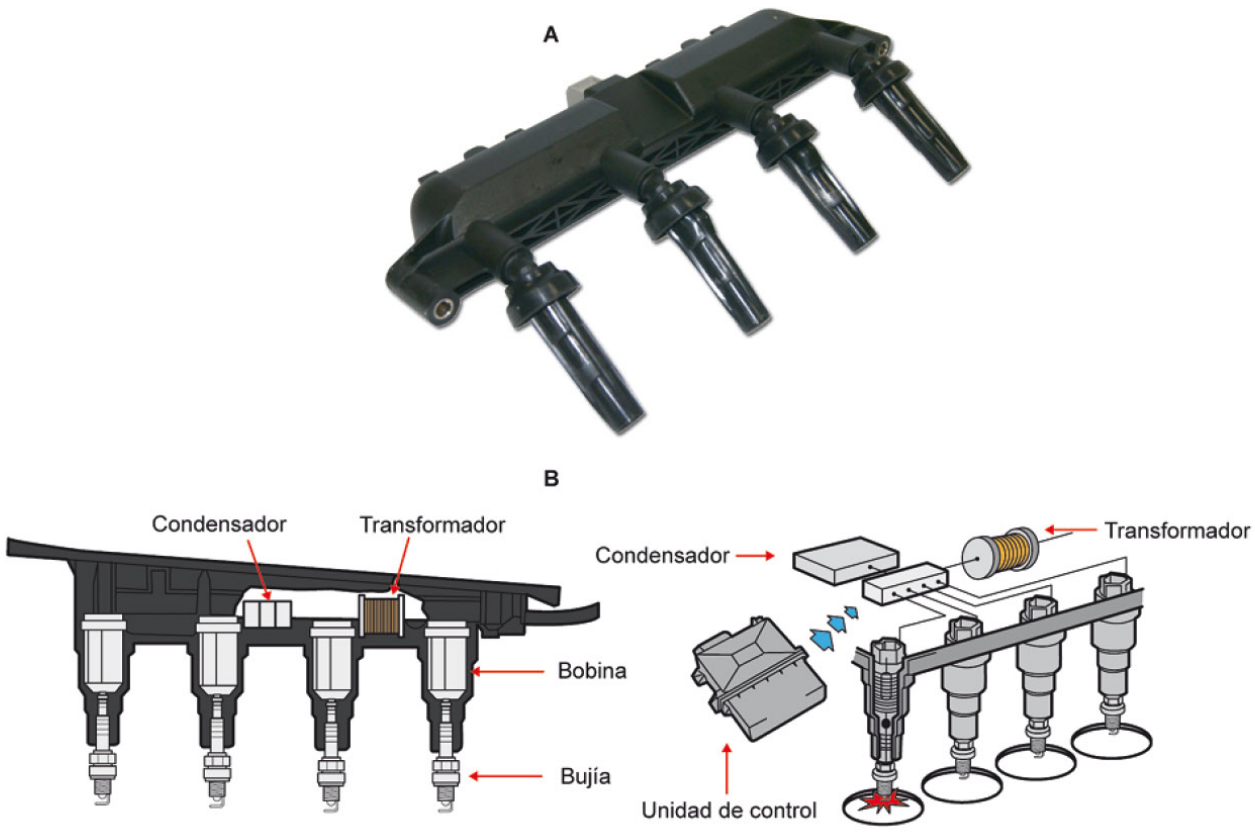


Figura 9.55. *Sistema de encendido secuencial en forma de casete (A) y ejemplo que incorpora un transformador y un condensador (B).*

© Ediciones Paraninfo

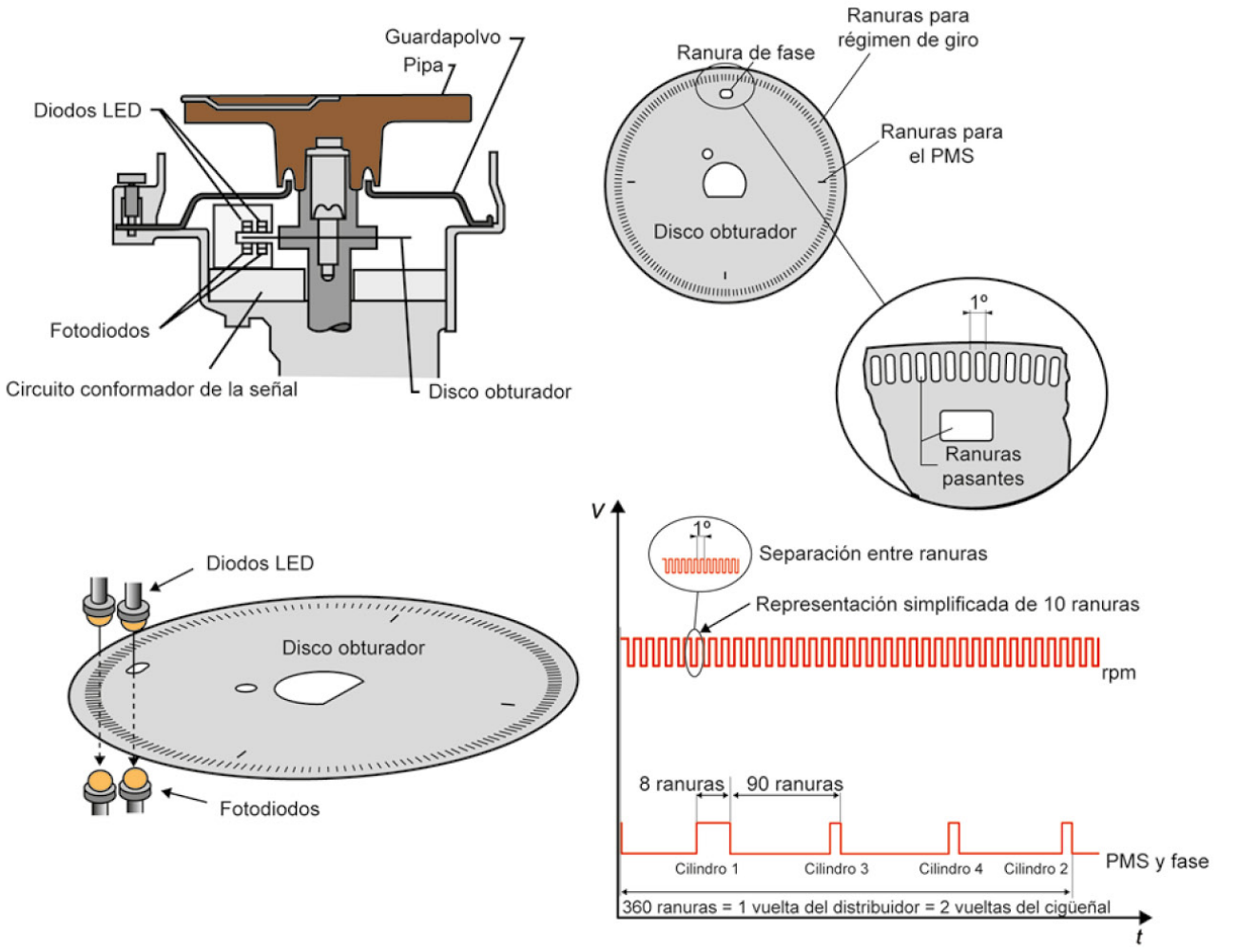


Figura 9.56. *Sistema de encendido que emplea captadores ópticos para obtener la señal de PMS, régimen de giro y fase.*

en su periferia son muy estrechas y separadas entre sí 1°, de forma que hay 360 ranuras, obteniéndose la señal de régimen. Esto es posible porque el diodo LED emite luz y cuando una ranura está enfrentada, pasa y es recibida por el fotodiodo. Cuando se encuentra el espacio entre ranura y ranura, el fotodiodo no puede recibir la luz. Así se obtiene un tren de pulsos cuya frecuencia variará en función del régimen de giro. De forma concéntrica más hacia el interior del disco se encuentra otra serie de ranuras, en concreto cuatro, que informan de la posición de PMS. Una de ellas es un poco más ancha e informa de la fase, ya que es la referencia de PMS del cilindro 1, siendo empleada, por ejemplo, para sincronizar el sistema de inyección si es de tipo secuencial.

Otro tipo de sistema de encendido es el llamado encendido por condensador de alta tensión, utilizado en aplicaciones muy concretas, como en vehículos o motocicletas de altas prestaciones. La orden de mando puede ser a través de ruptor o con un generador de impulsos, entre otros. En estos sistemas, la energía de encendido es acumulada en el campo eléctrico de un condensador, a unos 300 o 400 V. En el momento de encendido, el condensador se descarga sobre el arrollamiento primario de la bobina, gracias a un tiristor. Al producirse muy rápidamente la descarga, se induce en el secundario un elevado voltaje que provoca el salto de chispa. La descarga de energía de encendido se dice que es capacitiva en lugar de inductiva como en los casos anteriores. Algunas ventajas de este sistema son la precisión, estabilidad de la chispa e insensibilidad a las derivaciones eléctricas en el circuito, como las debidas a bujías sucias. Por otro lado, tiene el inconveniente de producir tiempos de chispa demasiado pequeños para determinadas aplicaciones, que a veces no asegura la inflamación de la mezcla, y el cuidado que hay que tener en las operaciones de mantenimiento para no sufrir descargas eléctricas. En cualquier caso, se puede decir que el nivel de prestaciones de los modernos sistemas de encendido electrónico hace que prácticamente no haya diferencia con los de encendido por condensador y este último esté destinado a casos muy específicos.

© Ediciones Paraninfo

Algunos motores incorporan un sistema de encendido de doble bujía, como el que se muestra en la Figura 9.57. Con esta disposición se mejora la combustión, haciéndola más completa. Esto disminuye el ruido y las emisiones contaminantes. Por otro lado, al disminuir la tasa de hidrocarburos sin quemar que llegan al catalizador, este está más protegido y aumenta su duración. El encendido de las bujías puede ser simultáneo o con un cierto desfase entre ambas para minimizar el recorrido del frente de llama.

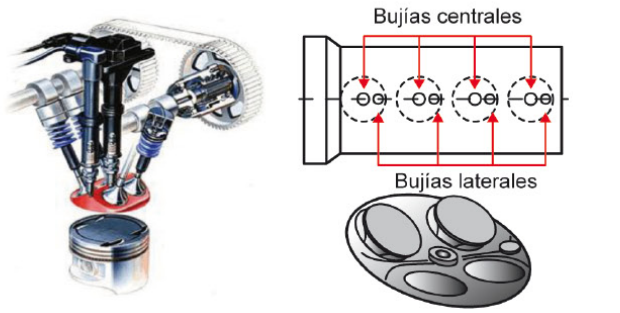


Figura 9.57. *Sistema de encendido de doble bujía.*

En motores pequeños de dos y cuatro tiempos, normalmente monocilíndricos, es bastante usual el empleo de encendidos con volante magnético, como el mostrado en la Figura 9.58.A, que gira alrededor del llamado plato base fijo, como el de la Figura 9.58.B. El volante magnético incorpora unas masas polares formadas por imanes permanentes que al girar alrededor del plato base inducen en las bobinas de este una tensión de poco valor que hace circular por ellas la corriente primaria. Posteriormente, ya sea a través de un ruptor u otro dispositivo, se interrumpe la corriente primaria y se induce en el secundario la alta tensión de encendido. Normalmente, estos encendidos suelen tener un reglaje de avance de encendido fijo, por lo que mediante un comparador se determinará la distancia desde el punto de encendido hasta el PMS midiéndola sobre la cabeza del pistón. En ese punto de avance, se fijará el volante y el plato base enfrentando sus respectivas marcas de encendido, según el manual del fabricante. Hay que decir que existen diferentes tipos de encendido de plato magnético y disposiciones constructivas del mismo.

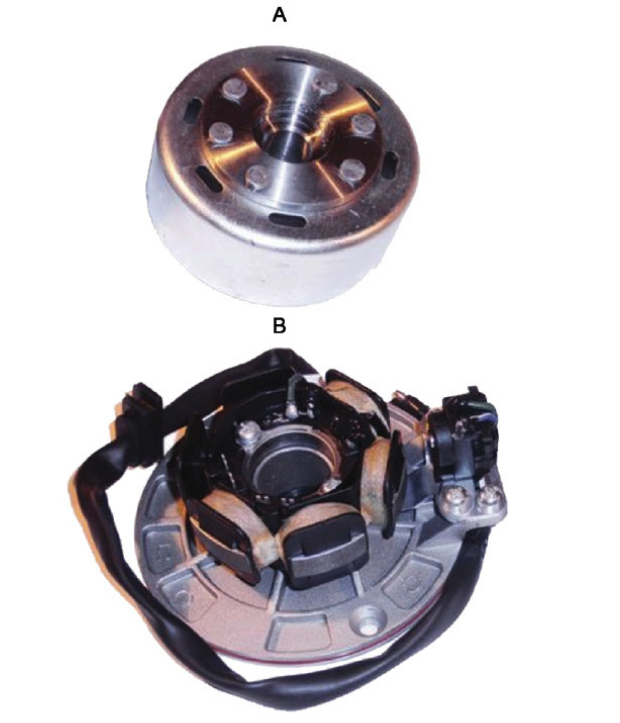


Figura 9.58. *Encendido con volante magnético. Volante magnético (A) y plato base (B).*

9.4. Mantenimiento, averías y comprobaciones

A continuación se van a explicar las operaciones más habituales sobre los sistemas de encendido. Primero se van a desarrollar las correspondientes al encendido convencional y seguidamente, dado que hay algunos elementos comunes entre los sistemas, las peculiares de cada una de las evoluciones. Hay que decir que los valores que figuran a continuación son estándar y deben tomarse solo a modo de referencia. Para valores de parámetros exactos deberá de consultarse el manual del fabricante concreto de cada caso.

9.4.1. Operaciones en el encendido convencional

- **Bobina:** la comprobación de la bobina se realizará con polímetro, tomándose las medidas siguientes, representadas esquemáticamente en la Figura 9.59:
  - **Tensión de alimentación:** la tensión entre el terminal 15 y masa debe marcar la tensión de batería.
  - **Aislamiento a masa:** la resistencia entre masa y los terminales 15, 1 y 4 debe de indicar infinito.
  - **Resistencia del arrollamiento primario:** el valor de resistencia entre los terminales 15 y 1 debe marcar aproximadamente 1 Ω. En sistemas de encendido transistorizados y electrónicos, el arrollamiento primario suele tener una baja impedancia, siendo su valor óhmico inferior a 1 Ω.

© Ediciones Paraninfo

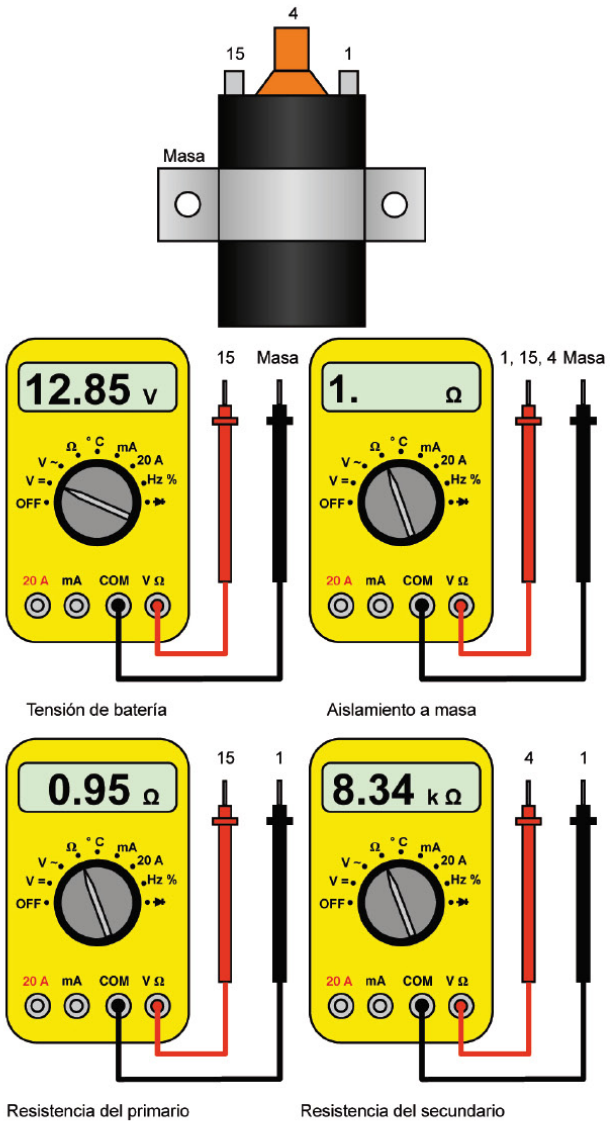


Figura 9.59. *Comprobaciones de la bobina con el polímetro.*

– **Resistencia del arrollamiento secundario:** el valor de la resistencia del secundario se obtiene conectando las puntas del polímetro a los terminales 4 y 1. El orden de magnitud está comprendido entre los 3 y 11 kΩ.

La bobina también puede verificarse en un banco de pruebas de encendidos, como el de la Figura 9.60, donde se detalla la forma de realizar las conexiones para hacer la comprobación. El objetivo es conectar la salida de alta tensión de la bobina a un chispómetro cuyas puntas deben estar separadas unos 12 mm. El banco dispone de un simulador de ruptor que interrumpe la corriente primaria. Después de unos minutos de funcionamiento, la chispa debe seguir saltando en el chispómetro, incluso aumentando la frecuencia de interrupción de la corriente primaria.

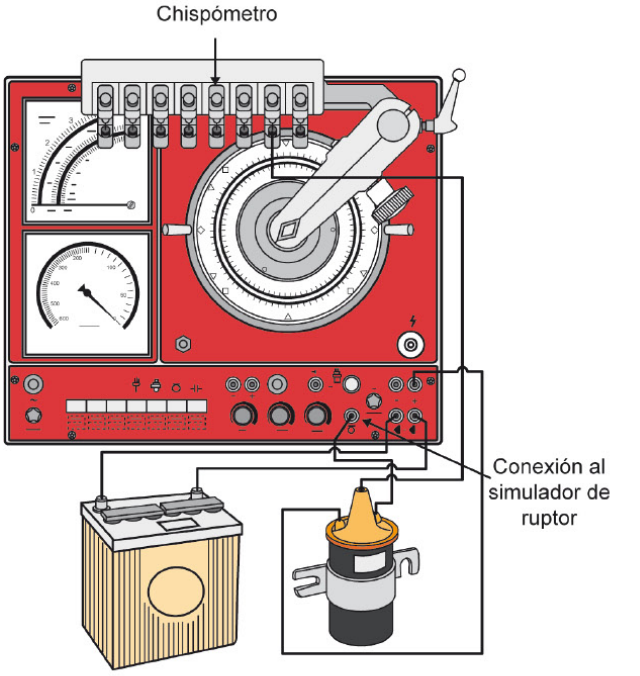


Figura 9.60. *Verificación de la bobina en un banco de pruebas de encendidos.*

- **Condensador:** el condensador se puede comprobar con un aparato como el simbolizado en la Figura 9.61. Conectando las puntas de prueba del comprobador en los terminales correspondientes del condensador, la lámpara debe iluminarse y apagarse posteriormente. Si la lámpara permanece iluminada constantemente, el condensador está cortocircuitado, y si se producen parpadeos es que tiene fugas.

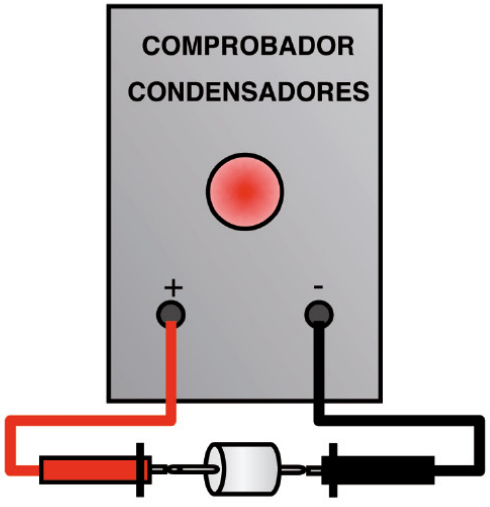


Figura 9.61. *Comprobador de condensadores.*

© Ediciones Paraninfo

- **Ruptor:** la separación entre contactos del ruptor se puede medir con una galga y debe estar en torno a 0,4 mm. Cuando se observe un desgaste excesivo de los contactos hay que sustituir el ruptor, operación que suele ser necesaria cada 50 000 km aproximadamente. Los contactos no deben ser limados para no eliminar el recubrimiento de tungsteno.

- **Pipa y tapa:** la pipa o rotor no debe presentar signos de desgaste en el extremo de su placa metálica conductora. La tapa no ha de tener fisuras por las que se puedan generar fugas de corriente. Por otro lado, las conexiones interiores de la tapa, incluyendo el carboncillo de contacto con la pipa, deben estar en buen estado.

Sabías que...

En determinadas condiciones climatológicas puede condensarse humedad en el interior de la tapa del distribuidor dificultando el arranque o provocando fallos de encendido. En tal caso hay que desmontarla y limpiarla pudiendo aplicar un spray dieléctrico especial para estos casos.

- **Cables de alta tensión:** los cables de alta tensión deben presentar flexibilidad y no mostrar grietas o fisuras que provoquen derivaciones a masa. Con un polímetro se puede medir su resistencia y esta debe comprobarse con el valor especificado por el fabricante. Normalmente ha de ser inferior a 30 kΩ.

- **Bujías:** las bujías de encendido deben ser sustituidas con la periodicidad de kilómetros estipulada por el fabricante. Las bujías deben reponerse por otras iguales o equivalentes, si se emplean otras marcas, siguiendo siempre las prescripciones del fabricante. Los pasos a seguir para la sustitución de las bujías se resumen a continuación:

  – Aflojar la bujía a sustituir. Hay que tener cuidado especialmente en motores con culata de aluminio y realizar esta operación cuando el motor esté totalmente frío, ya que el aluminio tiene un coeficiente de dilatación mayor que el de la rosca de la bujía y en caliente se expande, bloqueándola. Si se ejerce una fuerza excesiva en estas circunstancias se puede dañar la rosca de la culata.

  – Retirar los restos de suciedad del hueco de la bujía antes de sacarla por completo. Se puede utilizar aire comprimido para realizar esta operación.

  – Sacar la bujía y observar sus electrodos, ya que su aspecto puede dar una idea del estado del motor e incluso diagnosticar posibles averías.

  – Tomar la nueva bujía comprobando que sea igual o equivalente a la que se sustituye, teniendo cuidado de no golpearla o dejarla caer. Ha de comprobarse con una galga de espesores que la separación entre electrodos o distancia disruptiva es la especificada. Si no es así, habrá que ajustarla con cuidado.

  – Enroscar la bujía nueva manualmente hasta donde se pueda. En el caso de bujías de difícil acceso puede ser útil emplear como prolongador una tubería de caucho de gasolina o un manguito estrecho, introduciéndolo a presión en la parte superior del aislador. No se debe utilizar la llave de bujías para la aproximación porque se puede realizar una fuerza excesiva y si la bujía no ha entrado correctamente dañar la rosca. En ocasiones puede resultar conveniente aplicar un poco de grasa grafitada para evitar el agarrotamiento.

  – Apretar la bujía al par especificado con llave dinamométrica o realizar un apriete angular una vez haya hecho tope. La Figura 9.62 muestra una orientación de valores de aprietes dinamométricos y angulares.

El aspecto de los electrodos de las bujías informa acerca del estado del motor y de la calidad de la combustión, pudiendo ser una referencia de cara al diagnóstico de averías. Aunque el aspecto de las bujías puede ser muy variado, a continuación se recogen cinco casos habituales, que a su vez pueden observarse en la Figura 9.63:

– **Aspecto normal:** el pie del aislador y los electrodos tienen un color blanco, gris o amarillento, debido a aditivos del combustible que no se han quemado. El punto de encendido está bien regulado y el grado térmico es el adecuado.

– **Con carbonilla:** el pie del aislador y los electrodos presentan restos de carbonilla. Si la carbonilla es negra mate puede ser debido a un mal ajuste de la mezcla o a un grado térmico inadecuado, siendo este demasiado frío, trabajando la bujía por debajo del límite de autolimpieza. Si en vez de carbonilla presenta cenizas puede ser debido a aditivos del aceite, el cual se quema. Cuando el aspecto es aceitoso, la bujía está engrasada y se debe a un exceso de consumo de aceite.

– **Con depósitos:** la formación de depósitos se produce por una mala calidad del combustible, consumo de aceite o consumo de líquido refrigerante por daños en la junta de culata.

– **Con rotura del aislador:** la rotura del aislador puede dañar gravemente el motor. Puede deberse a la aplicación de un par de apriete inadecuado o a un golpe previo a la instalación de la bujía, por ejemplo, por una caída accidental.

© Ediciones Paraninfo

VALORES DE PAR DE APRIETE DINAMOMÉTRICO						
Tipo de bujía	Con asiento estanco plano				Con asiento estanco cónico	
Material de la culata	Tipo de rosca					
	M 10 x 1	M 12 x 1,25	M 14 x 1,25	M 18 x 1,5	M 14 x 1,25	M 18 x 1,5
Fundición	10 – 15 Nm	15 – 25 Nm	25 – 35 Nm	35 – 45 Nm	15 – 25 Nm	20 – 30 Nm
Aluminio	10 – 12 Nm	15 – 20 Nm	25 – 30 Nm	35 – 40 Nm	10 – 20 Nm	15 – 25 Nm

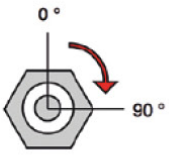
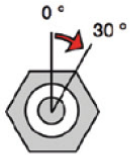
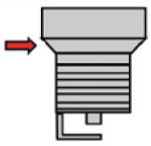
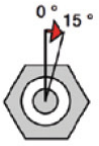
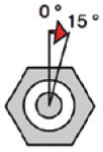
VALORES DE PAR DE APRIETE ANGULAR (DESDE QUE SE OBSERVA RESISTENCIA AL GIRO)		
Tipo de asiento	Nueva	Usada
Asiento estanco plano		
Asiento estanco cónico 		

Figura 9.62. *Valores orientativos de aprietes dinamométricos y angulares para las bujías.*

Aspecto normal

Con carbonilla

Con depósitos

Con rotura del aislador

Con los electrodos fundidos

Figura 9.63. *Aspecto de los electrodos de las bujías.*

– **Con los electrodos fundidos:** los electrodos central y de masa pueden fusionarse por un exceso de temperatura de la bujía. Esto es debido a un grado térmico inadecuado, siendo este muy caliente. La cabeza del pistón puede llegar a fundirse también dado que las temperaturas elevadas provocan autoencendido y picado de biela.

- **Distribuidor:** las comprobaciones del distribuidor pueden hacerse sobre sus elementos individuales, algunos ya explicados anteriormente, o bien de todo el conjunto en banco de pruebas.

  – **Elementos del distribuidor:** hay que comprobar que la carcasa del distribuidor esté en buen estado, que el fleje del ruptor tiene la fuerza prescrita por el fabricante y que el aspecto de otros elementos, como los mecanismos de avance, no presentan desperfectos. Se puede verificar el desgaste de la leva del ruptor con un comparador puesto en un soporte, apoyando el eje del distribuidor sobre dos calzos en uve, de la misma forma que se medía la excentricidad del cigüeñal, por ejemplo. También se puede revisar la estanqueidad de la cápsula del mecanismo de avance por vacío, colocando un vacuómetro según muestra la Figura 9.64. Tras aplicar el vacío, se debe mover la placa soporte del ruptor y mantener la estanqueidad.

© Ediciones Paraninfo

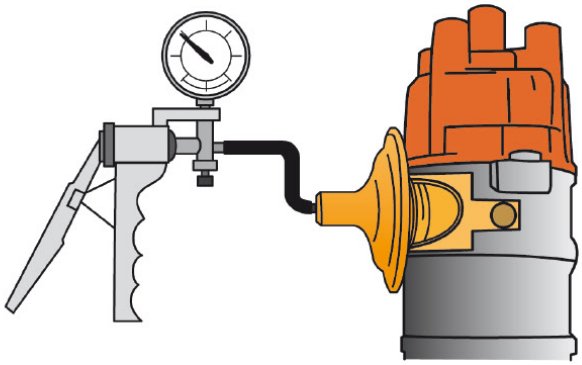


Figura 9.64. *Comprobación del funcionamiento y estanqueidad de la cápsula de vacío.*

– **Prueba del conjunto distribuidor en banco:** cuando todos los elementos del distribuidor se han comprobado, se puede verificar el conjunto en un banco de pruebas, como el de la Figura 9.65, que incorpora un sistema de arrastre para mover el distribuidor. Por otro lado, una lámpara de pruebas se coloca en paralelo al ruptor y se ilumina cuando los contactos están abiertos. Esta lámpara gira con el distribuidor dentro de un disco goniométrico. Así cuando la lámpara se ilumine, indicará el ángulo de apertura de los contactos. Las salidas de alta tensión del distribuidor se conectan a los chispómetros, estableciendo una separación entre puntas de 10 a 12 mm. Debe de comprobarse el buen funcionamiento del conjunto. La lámpara de comprobación iluminará tantas franjas del disco goniométrico como extremos tenga la leva. Estas franjas han de ser iguales y a medida que se hace girar más rápido el distribuidor, se van desfasando según la curva de avance centrífugo. Como el banco además tiene un vacuómetro, si se aplica vacío a la cápsula de depresión simulando carga, las franjas iluminadas también se desplazarán indicando la curva de avance por carga, siempre y cuando el distribuidor gire lo suficientemente despacio como para que no actúe el mecanismo de avance centrífugo. Con este sistema también puede comprobarse si existe rebote de contactos, al apreciarse varios destellos de la lámpara cuando abren los contactos.

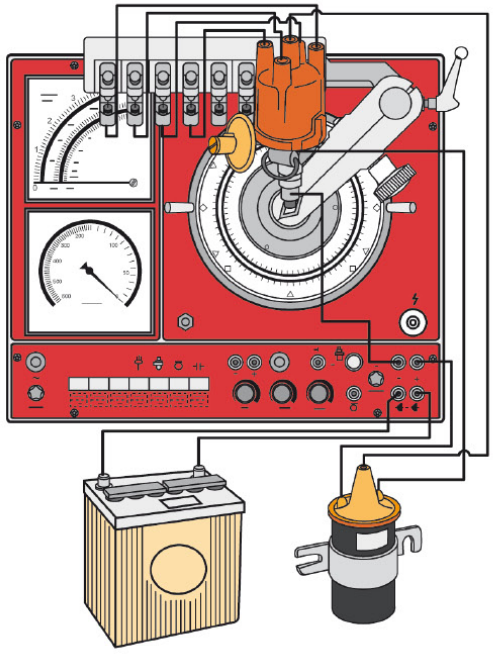


Figura 9.65. *Banco de pruebas del distribuidor.*

- **Puesta a punto del encendido:** una vez verificado el conjunto distribuidor, se instala en el motor y se procede a su puesta a punto para sincronizar su giro con el del cigüeñal. Existen dos métodos fundamentales para efectuar el calado del distribuidor en el caso de encendido convencional:

  – **Puesta a punto manual:** a su vez existen diferentes métodos para realizar esta operación. Quizás el más complejo sea el caso en el que el distribuidor engrana con el árbol de levas, cuando este se dispone en el bloque. El proceso se realizará con el motor parado y siguiendo el manual de taller del fabricante, pero, si no se dispone de él, se seguirán los pasos genéricos que figuran a continuación:

    » Conocer el orden de encendido del motor. Si no se tiene información al respecto, se deducirá siguiendo el orden de apertura y cierre de válvulas.

    » Situar el cilindro número 1 al final de la carrera de compresión, con el procedimiento de observación de la posición de las válvulas o ayudándose de una marca en la polea del cigüeñal, como muestra la Figura 9.66.A.

    » Colocar el distribuidor de forma que dé la orden de encendido para el cilindro 1, observando cuándo empiezan a separarse los contactos del ruptor. Para un ajuste preciso se puede instalar una lámpara de pruebas en paralelo entre la salida del primario y la masa del ruptor, según esquematiza la Figura 9.66.B. La lámpara se encenderá cuando los contactos del ruptor comiencen a separarse. Una vez hecho el ajuste se fija el cuerpo del distribuidor.

    » Colocar la tapa del distribuidor asegurándose de que la pipa está enfrentada con la salida de alta tensión hacia el cilindro 1.

  – **Puesta a punto con pistola estroboscópica:** para realizar una puesta a punto del encendido más precisa se utiliza una pistola estroboscópica. Esta operación

© Ediciones Paraninfo

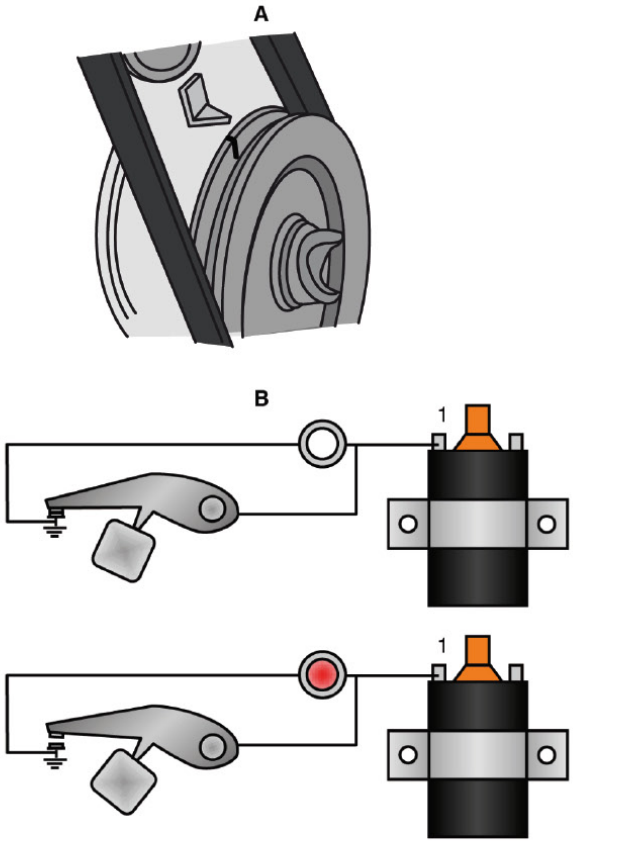


Figura 9.66. *Algunos pasos a seguir para la puesta a punto manual del distribuidor.*

se hace con el motor en marcha. El efecto estroboscópico consiste en que una lámpara emite una luz de forma sincronizada con el salto de chispa en la bujía. Al enfrentar la luz con una marca hecha en la polea del cigüeñal, esta parece estar inmóvil y se comparará con la marca fija del bloque para mirar el avance del encendido, al coincidir la frecuencia de destellos con la frecuencia de paso de la marca móvil sobre la fija. Este fenómeno aparece representado en la Figura 9.67.A. Existen diferentes modelos de pistolas estroboscópicas. Uno de ellos es el que muestra la Figura 9.67.B. Las pinzas de alimentación (1) se conectan a los terminales de la batería y el captador (2), que puede ser capacitivo o inductivo, al cable de alta tensión del cilindro 1, prestando atención a la posición, ya que suele tener una flecha que ha de apuntar hacia la bujía. El objetivo es establecer el avance inicial del encendido determinados grados antes de que el pistón llegue al PMS. Para ello se conecta la pistola estroboscópica de la forma mencionada y se enfrenta la lámpara a la marca fija, manteniendo el pulsador (3) apretado. Hay que desacoplar el tubo que conecta el colector de admisión con el mecanismo de avance por vacío para que este no actúe, realizar la operación con

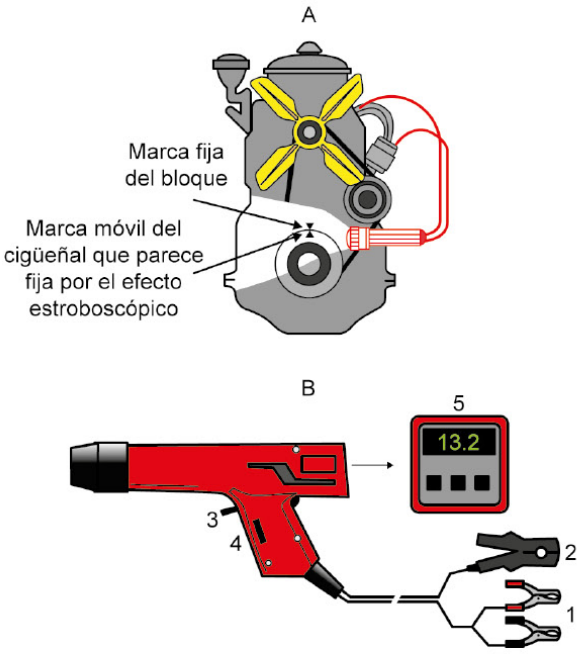


Figura 9.67. *Puesta a punto del encendido con pistola estroboscópica.*

el motor al ralentí para que el mecanismo de avance centrífugo tampoco intervenga y asegurarse de que el motor está a temperatura de régimen. Una vez hecho esto se ajusta el ángulo de avance inicial prescrito por el fabricante con el potenciómetro (4) y este se visualizará en la pantalla (5). Después habrá que girar el distribuidor en sentido de avance o retraso hasta hacer coincidir la marca móvil con la fija del bloque. Por último se aprietan los tornillos o brida de fijación del distribuidor, habiendo terminado la puesta a punto.

La pistola estroboscópica sirve también para comprobar las curvas de avance centrífugo y por carga.

La curva de avance centrífugo se puede obtener tomando medidas de avance a diferentes regímenes de giro. Para ello, se desconecta el tubo de vacío y se conecta un tacómetro. Algunas pistolas incorporan la función de tacómetro, así como medición de voltaje, ángulo Dwell… Para diversos regímenes de giro se ajustará el potenciómetro haciendo que las marcas móvil y fija coincidan, siendo la medida de avance la que indique la pantalla. La medida de avance centrífugo real será la medida realizada menos el avance inicial. Se irán comparando los valores obtenidos con la curva de avance centrífugo ofrecida por el fabricante, observando que estén dentro de las tolerancias permisibles. Si la curva resultante no corresponde, existen procedimientos para modificar la tensión de los muelles del mecanismo.

© Ediciones Paraninfo

La curva de avance por carga se obtiene de la misma forma que la anterior, pero conectando el tubo de vacío. En este caso, el avance debido a la carga será el que marque la pantalla menos el centrífugo a ese régimen y menos el inicial. La curva obtenida se comprobará con la del fabricante.

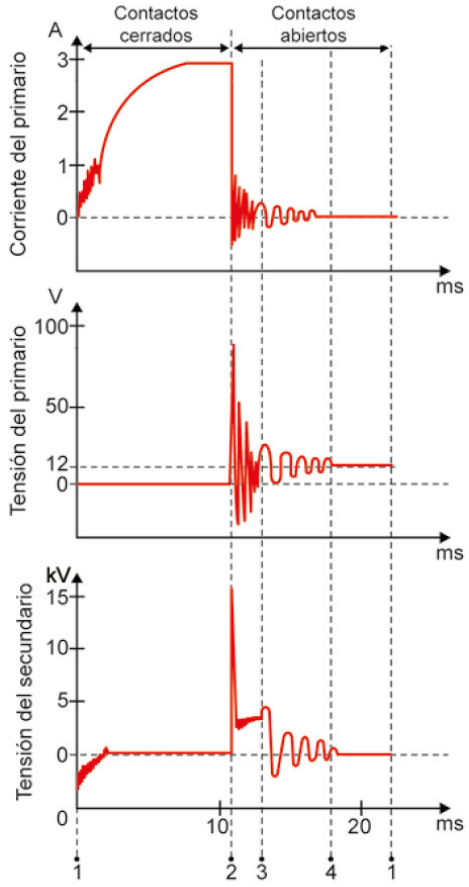
Recuerda que...

Las marcas para la puesta a punto del distribuidor pueden estar en cualquiera de los extremos del cigüeñal, perteneciendo la marca móvil a una polea o al volante de inercia.

- **Comprobación del encendido con osciloscopio:** una de las formas más habituales de comprobar el funcionamiento completo del sistema de encendido es a través del osciloscopio. Existen diferentes tipos de osciloscopios, unos que son específicos de automoción e incluso de monitorización de encendidos, otros que van incorporados en equipos de diagnosis y los genéricos, que sirven para obtener cualquier tipo de señal y con determinados accesorios como atenuadores o captadores inductivos o capacitivos, pueden realizar medidas sobre el sistema de encendido. Sea cual sea el equipo empleado, a continuación se va a explicar el oscilograma normal del circuito primario y secundario para posteriormente deducir averías si se observan anomalías en estas gráficas.

  – **Oscilograma normal:** en la Figura 9.68 puede verse el oscilograma normal del primario y del secundario a lo largo del ciclo de un cilindro, explicando los fenómenos que tienen lugar en cada una de las fases. Se ha representado en la parte superior, a modo de referencia, la evolución de la corriente primaria. Hay que decir que los oscilogramas pueden variar en función del régimen de giro y de la carga del motor. Los que figuran a continuación se suponen a un régimen algo superior al ralentí y sin carga.

  En función del número de canales del osciloscopio se podrán ver representadas las señales del primario, del secundario o ambas a la vez. En cualquier caso, la forma de conectar el osciloscopio es la siguiente:



INTERVALO O PUNTO	CIRCUITO PRIMARIO	CIRCUITO SECUNDARIO
1 – 2	Contactos cerrados. Circula corriente y la bobina genera un campo magnético.	
2	Contactos abiertos. La disipación del campo magnético induce una tensión que se aplica sobre el condensador y el circuito primario.	Se induce la tensión de encendido.
2 – 3	Oscilaciones debidas al circuito resonante creado entre el condensador y la bobina.	Tras el salto de chispa, la tensión disminuye y se mantiene (mantenimiento de chispa). Esta tensión se conoce como tensión de combustión.
3		Finalización de la chispa.
3 – 4	Cuando finaliza la chispa, la tensión en el circuito primario desciende hasta la tensión de batería tras una disipación de energía amortiguada.	Las oscilaciones de tensión se reflejan en el secundario hasta alcanzar un valor de tensión final nulo.
4 - 1	En el punto 1 se cierran los contactos y la tensión del primario se hace cero, repitiéndose el ciclo.	La variación de tensión del primario induce en el secundario una tensión negativa a partir del punto 1, repitiéndose el ciclo.

Figura 9.68. *Oscilograma normal del primario y del secundario.*

© Ediciones Paraninfo

» *Oscilograma del circuito primario:* la sonda del osciloscopio se conecta en el terminal negativo de la bobina (recomendando el empleo de un atenuador de 20:1), la pinza de masa al negativo de la batería, y la señal de sincronismo o *trigger* en el cable de alta tensión del cilindro 1, a través de un captador especial para alta tensión, que suele ser una pinza capacitiva o inductiva.

» *Oscilograma del circuito secundario:* al canal de entrada del osciloscopio se conecta el captador de alta tensión (pinza capacitiva o inductiva) y se sitúa en el cable de alta tensión de la bobina. La pinza de masa y señal de disparo de la misma forma que para el circuito primario.

– **Anomalías en los oscilogramas:** a la vista de los oscilogramas del primario y del secundario se pueden deducir averías. Es recomendable visualizar en la misma pantalla las gráficas de todos los cilindros. La Figura 9.69 muestra las anomalías más frecuentes atendiendo a las diferentes zonas de los oscilogramas.

Recuerda que...

Las operaciones sobre el sistema de encendido conllevan riesgo eléctrico, por lo que hay que adoptar las medidas de seguridad adecuadas y seguir las recomendaciones del manual del fabricante.

9.4.2. Operaciones en el encendido transistorizado a contactos

Las comprobaciones y operaciones de puesta a punto de este tipo de encendidos son similares a las del encendido convencional, exceptuando que ahora hay que comprobar el transistor. Para comprobar el bloqueo del transistor se realiza la medida de tensión con un polímetro, entre el terminal 1 de la bobina y masa. Cuando los contactos del ruptor están abiertos, la tensión ha de ser la de batería, como indica la Figura 9.70.A. Cuando los contactos están cerrados, la

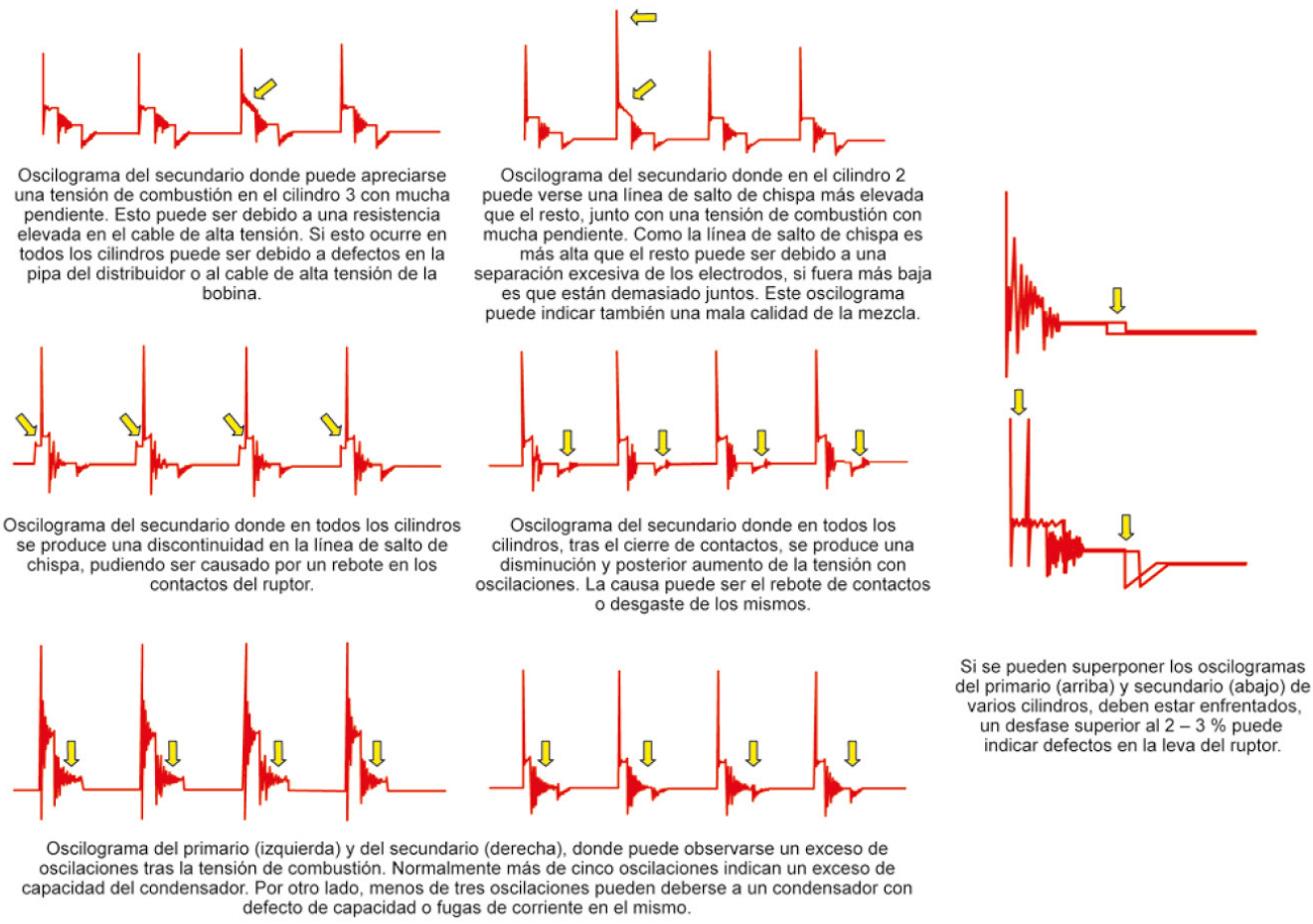


Figura 9.69. *Diferentes anomalías en los oscilogramas atendiendo a sus diferentes zonas.*

© Ediciones Paraninfo

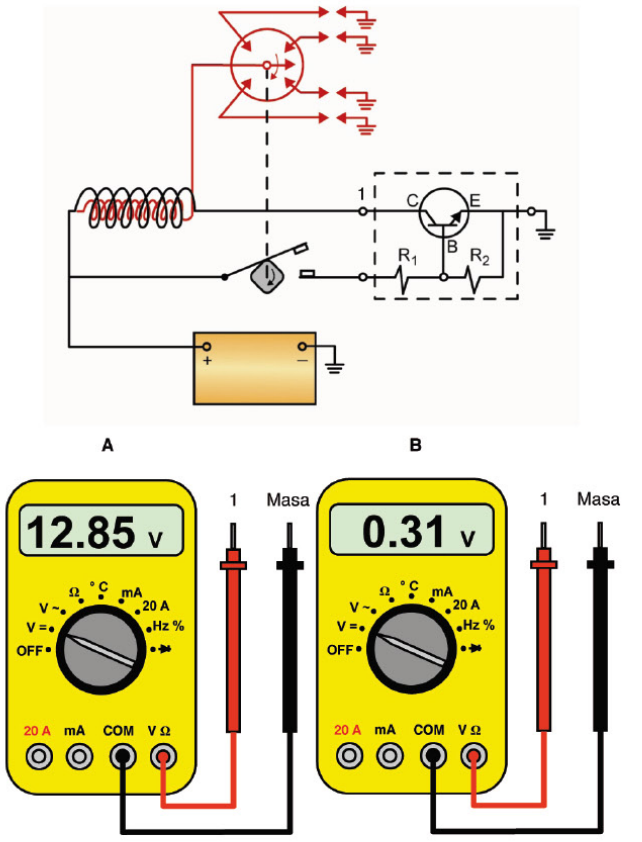


Figura 9.70. *Comprobación del bloqueo del transistor con un polímetro.*

tensión debe caer a un valor que depende del tipo de transistor, pero que en cualquier caso es muy inferior a la de batería, como indica la Figura 9.70.B.

9.4.3. Operaciones en el encendido transistorizado con generador Hall

En estos sistemas se sustituye el ruptor por un generador de impulsos y el transistor va integrado en un módulo electrónico que realiza diversas funciones. Las comprobaciones se centran en estos dos elementos.

Para comprobar el generador Hall se retira la tapa del distribuidor de forma que quede visible el generador de impulsos y se activa el contacto. A continuación se hacen las siguientes verificaciones:

- **Resistencia del circuito Hall:** con el polímetro en posición de medida de resistencia, se comprueba que el valor entre los terminales + y − es del orden de kΩ, como representa la Figura 9.71.A. Para esta prueba se apagará el contacto.
- **Tensión de alimentación:** se conecta un polímetro entre los terminales + y −, como indica la Figura 9.71.B,

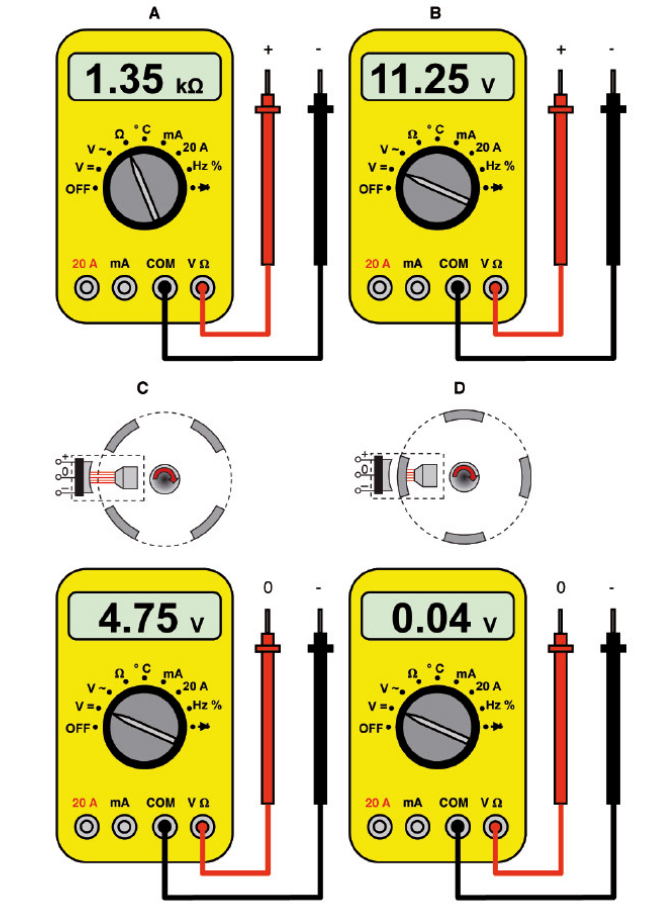


Figura 9.71. *Comprobación del generador Hall.*

comprobando que el valor de tensión es el especificado, estando en la mayoría de los casos comprendido entre 9 y 12 V.

- **Tensión Hall:** se sitúa el tambor obturador hasta que ninguna pantalla quede enfrentada con la pastilla Hall. Se mide la tensión entre los terminales 0 y −, como muestra la Figura 9.71.C, debiendo ser de un valor comprendido entre 3 y 12 V. Después se gira el motor hasta que alguna pantalla quede enfrentada con la pastilla Hall. Se vuelve a medir la tensión entre los terminales 0 y −, según la Figura 9.71.D, y esta debe valer entre 0,02 y 0,05 V.
- **Forma de la señal:** con la sonda del osciloscopio en el terminal 0, se comprueba que la forma de la señal es cuadrada, como la que mostraba la Figura 9.38.

Para comprobar el módulo electrónico se identificarán correctamente sus terminales, pudiendo realizar a continuación las siguientes comprobaciones:

- **Tensión de alimentación:** se activa la llave de contacto y se conecta un polímetro a los terminales + y masa del módulo electrónico. La tensión será la de la batería. Si es

© Ediciones Paraninfo

inferior habrá que comprobar en qué punto se produce la caída de tensión, ya que si el valor está por debajo de 9 V el módulo electrónico no funciona.

- **Señal del generador de impulsos:** para comprobar que al módulo le llega la señal del generador, se conectará un polímetro o un osciloscopio entre el terminal de entrada de señal del generador y masa. En estas condiciones, el polímetro deberá indicar los valores prescritos y el osciloscopio mostrará la forma de señal correcta.
- **Interrupción del circuito primario:** para verificar que el módulo electrónico está realizando correctamente su función de bloqueo, se conectará una lámpara de pruebas entre los bornes + y − de la bobina, como muestra la Figura 9.72. Al accionar el arranque, la lámpara debe parpadear indicando que el módulo interrumpe y cortocircuita el circuito primario. Si no es así, puede que haya que sustituir el módulo.

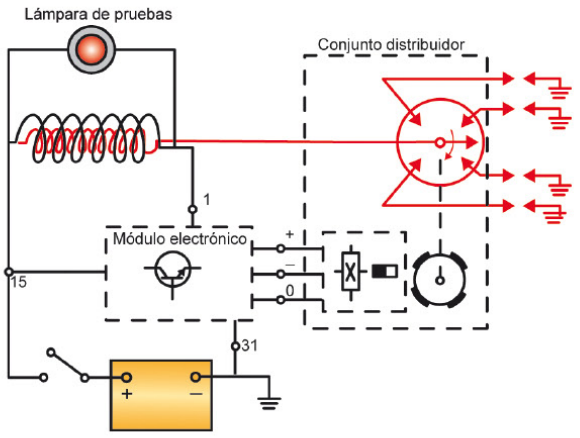


Figura 9.72. *Comprobación del módulo electrónico.*

9.4.4. Operaciones en el encendido transistorizado con generador inductivo

Las verificaciones de estos sistemas de encendido son muy similares a las del encendido transistorizado con generador Hall, a excepción de la comprobación del generador de impulsos y forma de onda de la señal.

En el generador de impulsos hay que observar la separación entre los salientes del rotor y los salientes del estator, en el caso de tener bobina interior y entre los salientes del rotor y el captador, en el caso de bobina exterior. Para ello se introducirá entre ambos elementos una galga de espesores y se comprobará que el entrehierro es el mismo en todos los salientes. El valor de entrehierro debe estar dentro de lo especificado, normalmente entre 0,4 y 0,8 mm. Esta distancia puede ajustarse aproximando o alejando con cuidado los salientes del estator en el caso de bobina interior, o moviendo la placa soporte del captador cuando la bobina es exterior.

Para comprobar la señal se puede utilizar un polímetro o un osciloscopio. Si se utiliza un polímetro se medirá la tensión en alterna existente entre los terminales + y − del captador, realizando una conexión en paralelo, como muestra la Figura 9.73. Habrá que observar que activando el arranque debe ofrecer una lectura de 0,5 a 1 V. Si se realiza la medida con el motor en marcha, la tensión debe aumentar al hacerlo el régimen de giro. Si la medida de tensión es de 0 V en cualquier caso, el generador de impulsos está defectuoso. Si se emplea un osciloscopio, la sonda del mismo se conectará al terminal + y se verificará la forma de la señal, que debe ser como la mostrada en la Figura 9.42, debiendo aumentar su tensión y frecuencia conforme lo haga el régimen de giro.

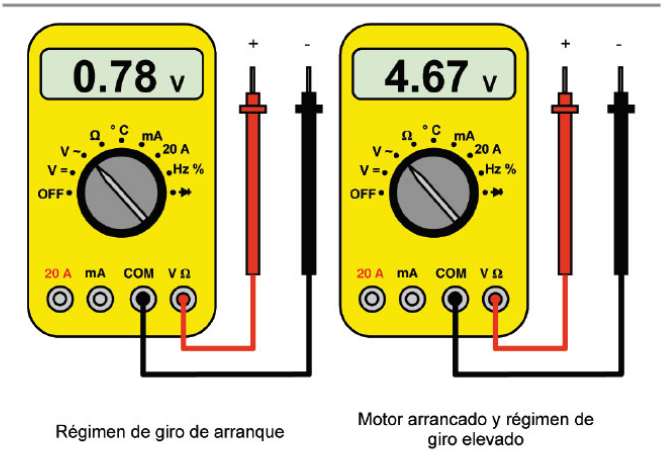


Figura 9.73. *Comprobación de la tensión del generador de impulsos inductivo en función del régimen de giro.*

9.4.5. Operaciones en el encendido electrónico integral

Las comprobaciones particulares a realizar en el encendido electrónico integral son las que afectan a la unidad electrónica de control y a los sensores.

En cuanto a la unidad electrónica de control, habrá que verificar que le llega alimentación de la batería a través del terminal correspondiente. Además, las conexiones deben estar en buen estado sin presentar signos de oxidación.

© Ediciones Paraninfo

Las operaciones de control de los sensores dependerán del número y tipo que incorpore. A continuación se nombran los más importantes:

- **Sensor de régimen de giro y marca de referencia del PMS:** normalmente este tipo de sensor o sensores, en el caso de llevar uno para el régimen de giro y otro para la fase, son de tipo inductivo. Habrá que comprobar con el osciloscopio la forma de la señal, observando que a medida que aumentan las revoluciones también lo hace la frecuencia y la amplitud de la señal. Puede emplearse también un polímetro midiendo la tensión en alterna entre sus terminales + y −. Para un régimen de giro constante debe leerse una tensión estable. Si esta lectura pasa de un cierto valor a cero de forma aleatoria es que el sensor está defectuoso.
- **Sensor de presión en el colector de admisión:** este dispositivo puede variar de unos vehículos a otros. Normalmente se comprueba la tensión de alimentación entre los terminales correspondientes. También se puede verificar el valor de la señal que envía a la unidad de control, entre su terminal de salida de señal y la masa. Esta tensión variará si se desconecta el tubo de vacío que lo une con el colector, se conecta un vacuómetro y se aplica depresión. Los valores de tensión en función de los de depresión deberán cumplir con las especificaciones del fabricante. Si no cumple con lo anterior habrá que sustituir el sensor. Por otro lado, manteniendo el vacuómetro conectado, con una pistola estroboscópica se puede comprobar cómo varía el avance según se aplica más o menos depresión.
- **Sensor de detonaciones:** la verificación del detector de picado puede hacerse de dos formas. La primera es observando con la pistola estroboscópica a un régimen de giro constante cuál es el avance del encendido. En esas condiciones, se desconecta el sensor y el avance ha de variar en sentido de retraso. La segunda forma es visualizando con la pistola estroboscópica el retraso de encendido que se produce cuando se golpea en las proximidades del sensor con un objeto metálico.
- **Sensor de temperatura del motor:** para comprobar el sensor de temperatura se mide su resistencia a diferentes temperaturas, debiendo cumplir con lo prescrito en el manual del fabricante.
- **Sensor de posición de la mariposa de gases:** la comprobación de este sensor dependerá de si es un interruptor o un potenciómetro. Si es un interruptor habrá que comprobar, en función de su posición de ralentí o de plena carga, por qué está recibiendo la tensión de alimentación. Si es un potenciómetro se comprobará la tensión de alimentación y la tensión entre el terminal central de salida de señal y masa en función de la posición de la mariposa.

Además de las comprobaciones anteriores se puede verificar cómo varía el ángulo de cierre o porcentaje Dwell con el polímetro. Para ello se conecta el polímetro entre el terminal negativo de bobina y masa, seleccionando la posición de % en la ruleta, como indica la Figura 9.74. Debe observarse que a medida que aumenta el régimen de giro, también lo hace el valor Dwell. Esta comprobación, ya sea con el polímetro o gráficamente en el osciloscopio, también puede realizarse en el resto de sistemas de encendido electrónicos.

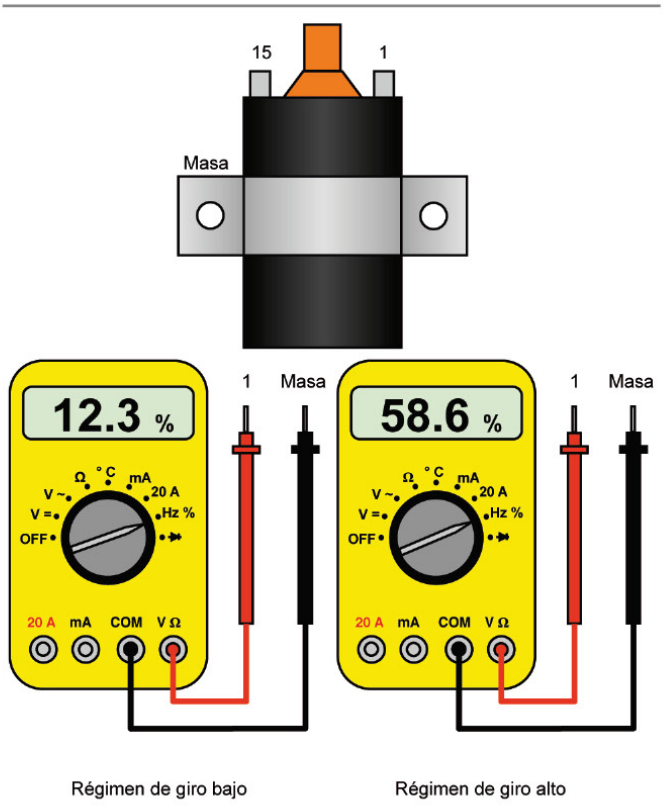


Figura 9.74. *Comprobación con el polímetro de la variación del ángulo de cierre en función del régimen de giro.*

9.4.6. Operaciones en el encendido electrónico sin distribuidor

Muchas de las comprobaciones del encendido electrónico sin distribuidor son similares a las de los sistemas anteriores. A continuación se describen las más habituales.

Es importante comprobar la tensión de alimentación de la unidad electrónica de control evitando posibles caídas de

© Ediciones Paraninfo

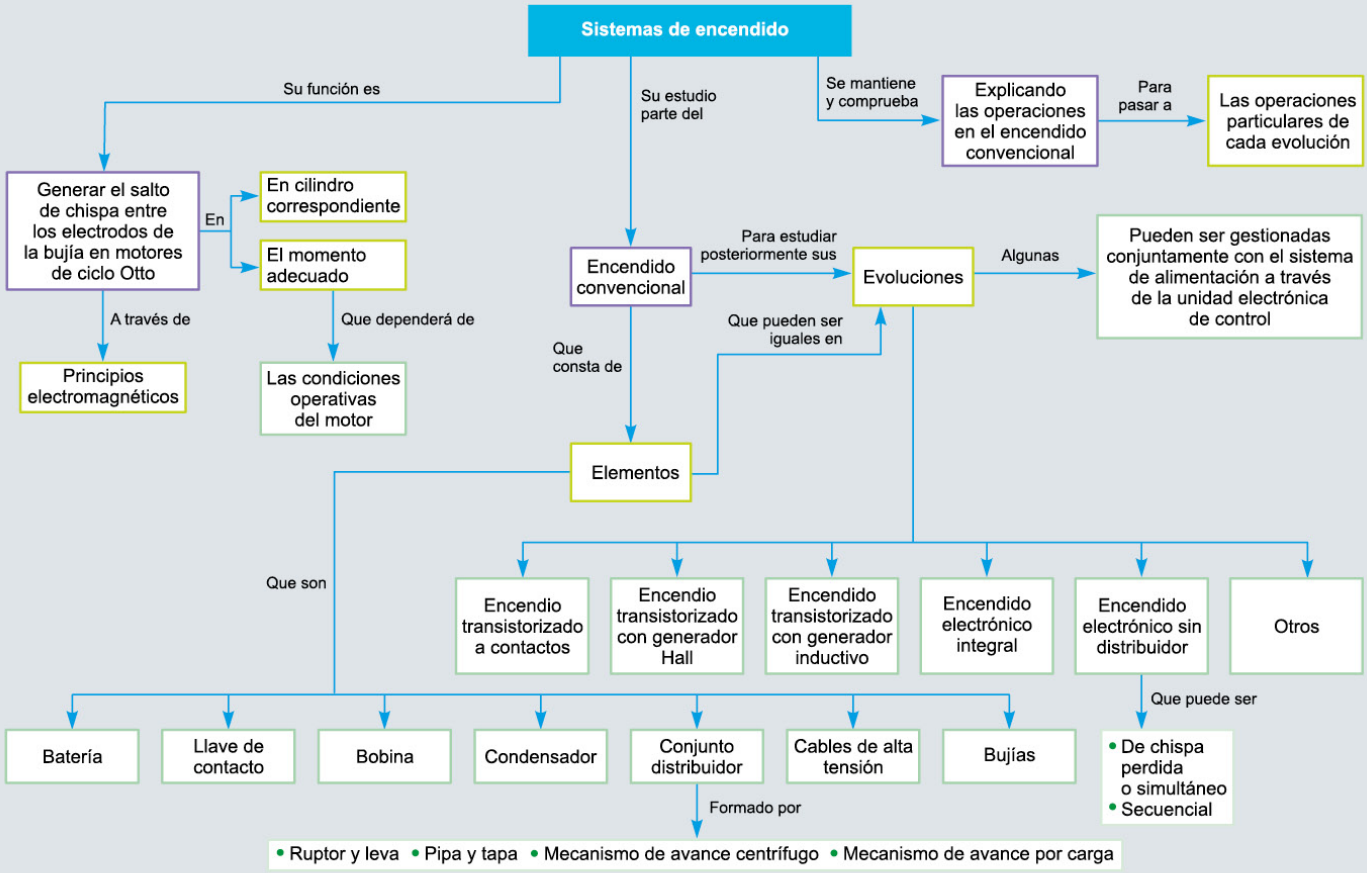
tensión, ya que si la unidad se alimenta con una tensión inferior a 9,5 V es posible que no se produzca el salto de chispa. Debe verificarse también la tensión de alimentación de las bobinas.

En los encendidos de chispa perdida o simultáneos, si se observa que no hay salto de chispa en dos bujías que comparten bobina, lo más probable es que dicha bobina esté defectuosa. Este es el caso, por ejemplo, de un motor de cuatro cilindros en línea en el que no salta chispa en los cilindros 1 y 4 o en los cilindros 2 y 3.

En los encendidos secuenciales habrá que comprobar el buen funcionamiento del sensor de fase, necesario para la sincronización de la orden de encendido. En los sistemas de bobina individual es bastante común que debido a la temperatura y las vibraciones se produzcan microfisuras en el aislamiento de las bobinas, como la mostrada en la Figura 9.75, provocando fugas de corriente. Esto ocasionará fallos de encendido y habrá que sustituir la bobina.

Figura 9.75. *Microfisura en el aislamiento de una bobina individual de un encendido secuencial.*

SÍNTESIS



COMPRUEBA

9.1. En los sistemas de encendido con ruptor, cuando se abren los contactos:

a) Comienza el cebado de la bobina.

b) Se produce el salto de chispa.

c) a y b son correctas.

d) Depende del tipo de motor.

9.2. El arrollamiento primario de la bobina tiene:

a) Pocas espiras de hilo fino.

b) Pocas espiras de hilo grueso.

c) Muchas espiras de hilo fino.

d) Muchas espiras de hilo grueso.

9.3. El valor Dwell es la relación que hay entre:

a) El ángulo de apertura y el disponible.

b) El ángulo de cierre y el disponible.

c) El ángulo disponible y el de avance del encendido.

d) Ninguna de las anteriores.

9.4. La tensión de encendido es:

a) La necesaria para el salto de chispa.

b) La que puede ofrecer como máximo el sistema de encendido.

c) La tensión disponible más la tensión de reserva.

d) Todas las anteriores.

9.5. Una bujía con el pie del aislador largo es:

a) Caliente o de grado térmico bajo.

b) Caliente o de grado térmico alto.

c) Fría o de grado térmico bajo.

d) Fría o de grado térmico alto.

9.6. En un sistema de encendido con generador de efecto Hall, la orden de encendido se produce:

a) Cuando la pantalla del tambor obturador empieza a abandonar el espacio entre la capa Hall y el imán.

b) Cuando la pantalla del tambor obturador empieza a invadir el espacio entre la capa Hall y el imán.

c) Cuando la pantalla del tambor obturador está justo en el centro del espacio entre la capa Hall y el imán.

d) Cuando la parte no apantallada del tambor obturador está justo en el centro del espacio entre la capa Hall y el imán.

9.7. La señal proporcionada por un generador inductivo es, según el régimen de giro:

a) Constante en amplitud y en frecuencia.

b) Constante en amplitud y variable en frecuencia.

c) Variable en amplitud y constante en frecuencia.

d) Variable en amplitud y en frecuencia.

9.8. El sensor de detonaciones es de tipo:

a) Piezoeléctrico.

b) Piezorresistivo.

c) Hall.

d) Inductivo.

9.9. La resistencia del arrollamiento primario de la bobina debe ser:

a) De 1 Ω o menos, según el tipo de encendido.

b) Del orden de 10 Ω.

c) Del orden de 3 a 11 kΩ, según el tipo de encendido.

d) Superior a 18 kΩ.

9.10. La puesta a punto del encendido con pistola estroboscópica debe hacerse:

a) Con el motor a régimen de ralentí.

b) Con el motor a temperatura de régimen.

c) Con el tubo de vacío desconectado.

d) Todas las anteriores.

REALIZA

9.11. Calcular la intensidad de campo magnético (B) y el flujo magnético (Φ) que generará el arrollamiento primario de una bobina que tiene las siguientes características: número de espiras $N = 300$ y longitud de las espiras $l = 11$ cm. Además, para concentrar las líneas de fuerza magnética, la bobina tiene en su interior un núcleo cilíndrico de ferrita con un diámetro $D = 2{,}1$ cm y un coeficiente de permeabilidad magnética relativa $\mu_r = 290$. La corriente que circula por el circuito primario tiene un valor de $I = 3{,}5$ A. Dato: permeabilidad magnética del vacío $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$.

9.12. El arrollamiento primario de una bobina genera un flujo magnético (Φ) $= 1{,}22 \cdot 10^{-3}$ Wb. Calcular la f.e.m. que generará la bobina en el arrollamiento primario y en el arrollamiento secundario, sabiendo que el número de espiras en el primario y en el secundario es $N_1 = 280$ y $N_2 = 28\,000$, respectivamente. El tiempo que tardan en abrirse los contactos es $t = 0{,}0018$ s.

9.13. Un motor de 6 cilindros y de 4 tiempos está girando a 3700 rpm. Calcular:

a) El ángulo disponible de la leva.

© Ediciones Paraninfo

b) El número de ciclos por segundo que realiza el motor.

c) El tiempo que tarda en realizar un ciclo.

9.14. Un motor de 4 cilindros y de 4 tiempos está girando a 4600 rpm. Si el ángulo de cierre es $\alpha_c = 56°$, calcular:

a) El valor Dwell.

b) Para el mismo ángulo de cierre, determinar el tiempo del que dispone la bobina para cargarse en cada cilindro.

c) Realizar el apartado anterior, si el motor gira ahora a 5600 rpm.

9.15. Realizar el esquema eléctrico de un sistema de encendido convencional y transistorizado a contactos.

9.16. Describir y analizar diferentes sistemas de encendido de motores del taller, ya sea en vehículo o en maqueta.

9.17. Obtener los oscilogramas del primario y del secundario de diferentes sistemas de encendido de motores del taller, ya sea en vehículo o en maqueta. Comentar los resultados obtenidos.

9.18. Tomar diferentes bujías usadas y a partir del aspecto de sus electrodos, intentar ofrecer un diagnóstico del funcionamiento del motor.

9.19. Realizar la puesta a punto manual y con pistola estroboscópica de un sistema de encendido en algún vehículo del taller.

INVESTIGA

9.20. Investigar acerca de los sistemas de encendido empleados en motocicletas.

© Ediciones Paraninfo

Sistemas de alimentación de gasolina

10

CONTENIDOS

10.1. Combustibles y combustión en motores Otto
10.2. El carburador
10.3. La inyección indirecta mecánica
10.4. La inyección electrónica monopunto
10.5. La inyección indirecta electrónica multipunto
10.6. La inyección directa electrónica
10.7. Sistemas de alimentación a gas

OBJETIVOS

- Conocer las características de los combustibles empleados en motores de ciclo Otto.
- Describir el proceso de combustión en los motores de encendido provocado.
- Analizar los diferentes sistemas de alimentación empleados en los motores de gasolina.
- Mantener adecuadamente cada sistema de alimentación diagnosticando sus posibles averías.

Aunque en la actualidad están desarrollándose nuevos combustibles, los motores de ciclo Otto han utilizado y utilizan como combustible principal la gasolina, siendo esta suministrada al motor a través del sistema de alimentación.

Los sistemas de alimentación en motores de gasolina han evolucionado mucho a lo largo del tiempo. En este capítulo se van a explicar las características de los combustibles y de la combustión en los motores de encendido provocado y se analizarán las diferentes evoluciones del sistema de alimentación, partiendo del carburador, que tiene un gran interés didáctico, hasta llegar a la inyección directa electrónica.

10.1. Combustibles y combustión en motores Otto

10.1.1. Combustibles empleados en motores de ciclo Otto

Los combustibles empleados en automoción se obtienen a partir de la destilación fraccionada del petróleo, en torres de rectificación, como la mostrada de forma esquemática en la Figura 10.1. A diferentes temperaturas y alturas de la torre se extraen diferentes compuestos. A temperaturas elevadas se obtienen las llamadas fracciones pesadas, como el asfalto, y a temperaturas más bajas las fracciones ligeras, como el gas.

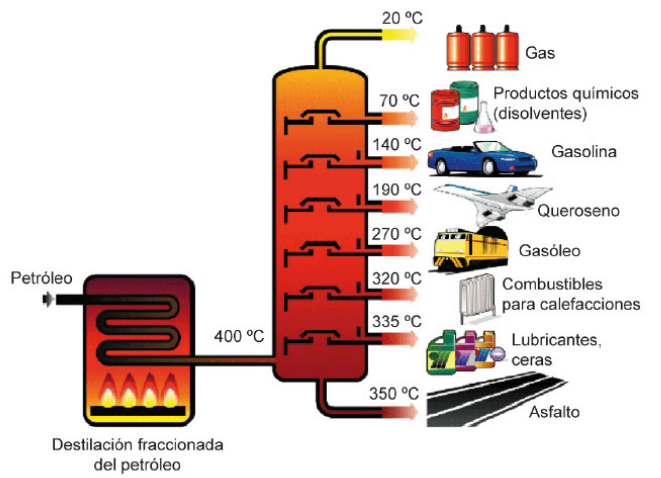


Figura 10.1. *Destilación fraccionada del petróleo en torre de rectificación.*

El combustible principal de los motores de ciclo Otto es la gasolina, que se obtiene de la destilación comentada anteriormente. Como de esta no sale una cantidad suficiente para cubrir la demanda, al petróleo se le somete a otros procesos como el craqueo y el reformado. Las características más importantes de la gasolina son:

- **Poder antidetonante:** es la capacidad que tiene la gasolina para ser comprimida antes de que se autoinflame. Como en los motores de encendido provocado se quiere que la mezcla se inflame justo cuando salte la chispa y no antes, la gasolina ha de tener un poder antidetonante elevado, que se mide a través del índice octano (IO). La gasolina es una mezcla de n-heptano, que es 100 % detonante, y de isooctano, que es 0 % detonante. El índice octano indica la proporción de isooctano en la mezcla con n-heptano. Así, una gasolina de 95 octanos tiene un 95 % en volumen de isooctano y un 5 % de n-heptano. Actualmente las gasolinas más comercializadas son las de 95 y 98 octanos.

Sabías que...

Para calcular el índice octano de la gasolina se emplea un motor monocilíndrico normalizado, con relación de compresión variable. El índice octano se obtiene a partir de una determinada proporción de mezcla y se modifica la relación de compresión hasta que la mezcla detona. Posteriormente se mantiene esa relación de compresión y se modifica la mezcla de n-heptano e isooctano hasta que se produce una detonación del mismo nivel que la anterior.

Sabías que...

En muchos sistemas de encendido antiguos, se podía modificar el avance manualmente para adaptarlo al octanaje de la gasolina. En la mayoría de los motores modernos, la unidad electrónica de control puede corregir los parámetros de inyección y encendido para adaptarse a gasolinas de diferente octanaje.

El poder antidetonante debido solo al octanaje es insuficiente para los requerimientos de los motores modernos. Por este motivo se emplean otros aditivos. Antiguamente se añadía tetraetilo de plomo, en la desaparecida gasolina «con plomo», sustancia que ya no se utiliza por la toxicidad del plomo y porque este inactiva los catalizadores de los vehículos.

Sabías que...

El tetraetilo de plomo precipitaba tras la combustión en forma de polvo metálico que, aunque favorecía la formación de depósitos, protegía los asientos de las válvulas alargando su vida útil, especialmente si estaban mecanizados directamente en la culata.

Actualmente se utiliza como aditivo antidetonante principal el MTBE (metil-tercbutil éter), obtenido a partir del petróleo, o el ETBE (etil-tercbutil éter), que suele tener origen vegetal.

- **Poder calorífico:** es la cantidad de energía o calor que es capaz de generar el combustible tras su combustión completa. Como es sabido, el calor se puede transformar en

© Ediciones Paraninfo

trabajo, que es el objetivo del motor. El poder calorífico suele expresarse en kcal/kg o más comúnmente en kJ/kg, siendo el valor medio de 42 000 kJ/kg.

- **Volatilidad:** es la capacidad que tiene la gasolina para evaporarse. Como el objetivo es que la gasolina se mezcle fácilmente con el aire, esta debe de tener una elevada volatilidad. Así se favorecerá la formación de la mezcla, sobre todo a temperaturas bajas, pero tampoco ha tener una capacidad de evaporación excesivamente alta para que no se formen bolsas de vapor en el colector de admisión, dificultando el llenado del motor. En consecuencia, la volatilidad de la gasolina ha de ser tal que se consiga un equilibrio entre ambas circunstancias extremas.
- **Densidad:** se define como la relación entre la masa de la gasolina y el volumen que ocupa. Suele medirse en kg/m^3. Un combustible tendrá mayor rendimiento cuanto mayor sea su densidad. La densidad media de la gasolina está comprendida entre 720 y 775 kg/m^3 a 15 °C.
- **Pureza:** la gasolina debe estar lo más libre posible de impurezas, como por ejemplo aquellas que propicien la formación de depósitos y el azufre. El contenido en azufre de los combustibles actualmente está muy reducido, sobre todo por la limitación de emisiones contaminantes. La disminución de este elemento en la gasolina evita la formación de productos corrosivos en el interior del motor, como el ácido sulfúrico, que puede dañar sus componentes.

Para mejorar las características de la gasolina se suelen emplear otros aditivos, como por ejemplo:

- **Anticorrosivos:** neutralizan los ácidos que puedan producirse por el contenido en azufre y para proteger a los elementos metálicos de la oxidación.
- **Detergentes:** mantienen limpios los conductos del sistema de alimentación y la cámara de combustión.
- **Antiemulsionantes:** evitan la formación de emulsiones debidas a presencia de agua en la gasolina.
- **Modificadores de fricción:** para reducir las pérdidas de energía por rozamiento entre elementos metálicos del sistema de alimentación.
- **Estabilizantes:** que mantienen las propiedades de los compuestos de la gasolina durante su almacenamiento.

Además de la gasolina, algunos motores Otto pueden funcionar con otros combustibles, como los indicados a continuación:

- **Bioetanol:** es un alcohol obtenido a partir de la fermentación de la caña de azúcar, la remolacha o la melaza. También puede obtenerse a través de la hidrólisis de otros elementos. Se emplea como aditivo para mejorar el índice octano de las gasolinas, ya que a partir de él se obtiene el ETBE, pudiendo disponerse comercialmente al 5 % en volumen (gasolinas de tipo E5) o al 15 % (gasolinas de tipo E15). Otro formato comercial es el bioetanol al 100 %, que para poder utilizarse en motores, estos han de ser modificados, principalmente porque hay que aumentar la cantidad de combustible inyectado en cada ciclo al tener menor poder calorífico que la gasolina. Por otro lado, tiene la ventaja de ser totalmente biodegradable, reduciendo las emisiones contaminantes de hidrocarburos, compuestos de azufre y partículas. Como inconvenientes destacan, además de un menor poder calorífico, su afinidad por el agua, que desestabiliza la mezcla con la gasolina, y su reducida volatilidad, que dificulta el arranque en frío.
- **Gas natural:** es una mezcla de hidrocarburos en estado gaseoso, siendo el metano el gas predominante, en torno a un 80 %. Es un combustible fósil que procede de la descomposición de materia orgánica atrapada en diferentes estratos de la corteza terrestre, en forma de bolsas de gas. Puede emplearse en motores de gasolina ya que su índice octano es muy elevado, por encima de 130, aportando numerosas ventajas a su funcionamiento sin requerir complejas modificaciones. Puede emplearse en combinación con la gasolina en motores denominados de «combustible flexible», con ciertas modificaciones. Uno de sus inconvenientes es el almacenaje del mismo en el vehículo, tanto por peso como por seguridad, así como la reducción del rendimiento del motor, entre un 5 y 10 %, por su menor densidad comparada con la de la gasolina.
- **Gas licuado del petróleo (GLP):** consiste en una mezcla de propano y butano, al 60 y 40 % respectivamente, obtenida a partir del petróleo y como residuo del gas natural. Se llama gas licuado porque está en estado líquido cuando se almacena en depósitos a presión. Se puede emplear en motores de gasolina modificando el sistema de alimentación. Las ventajas aportadas son un índice octano superior a 100, la reducción de emisiones contaminantes y el no producir depósitos en la cámara de combustión. Por otro lado, el rendimiento del motor es menor que si se emplea gasolina, dada su escasa densidad. Actualmente su uso está muy extendido en vehículos de transporte público.
- **Biogás:** es una mezcla de gases, siendo predominantes el metano y el dióxido de carbono, procedentes de la descomposición de la materia orgánica. Puede emplearse en motores de gasolina por tener un índice octano superior a 160. Tiene la ventaja de poder aprovechar los residuos orgánicos pero con el inconveniente de su elevado coste de producción. Puede emplearse en motores de gasolina

© Ediciones Paraninfo

o en motores diésel adaptados, asumiendo una pérdida de rendimiento que puede superar el 10 % frente a otros combustibles.

10.1.2. El proceso de combustión en los motores de encendido provocado

La combustión en los motores de ciclo Otto se produce tras el salto de chispa de la bujía, por lo que también se llaman motores de encendido provocado. Para que tenga lugar la combustión es necesario un combustible (la gasolina), un comburente (el oxígeno del aire) y una aportación de calor (el conseguido al final de la compresión y el salto de chispa de la bujía). Como los motores de gasolina funcionan con una mezcla de combustible y aire homogénea, la combustión también es homogénea o premezclada.

El inicio de la combustión tiene lugar en un entorno próximo de la bujía y después se expande originando un frente de llama, que fracciona la combustión homogénea, al constituir una barrera física que separa los productos quemados de la mezcla sin quemar. La velocidad de avance del frente de llama es elevada, por lo que a esta combustión se le denomina explosión.

En función de la forma que tiene de progresar la combustión desde el salto de chispa en la bujía, se pueden distinguir dos tipos de combustiones:

- **Combustión normal:** se conoce como combustión normal aquella que tiene origen cerca de la bujía y que se expande en forma de un frente de llama que va quemando la mezcla que aún no ha ardido, como muestra esquemáticamente la Figura 10.2.A. La presión en la

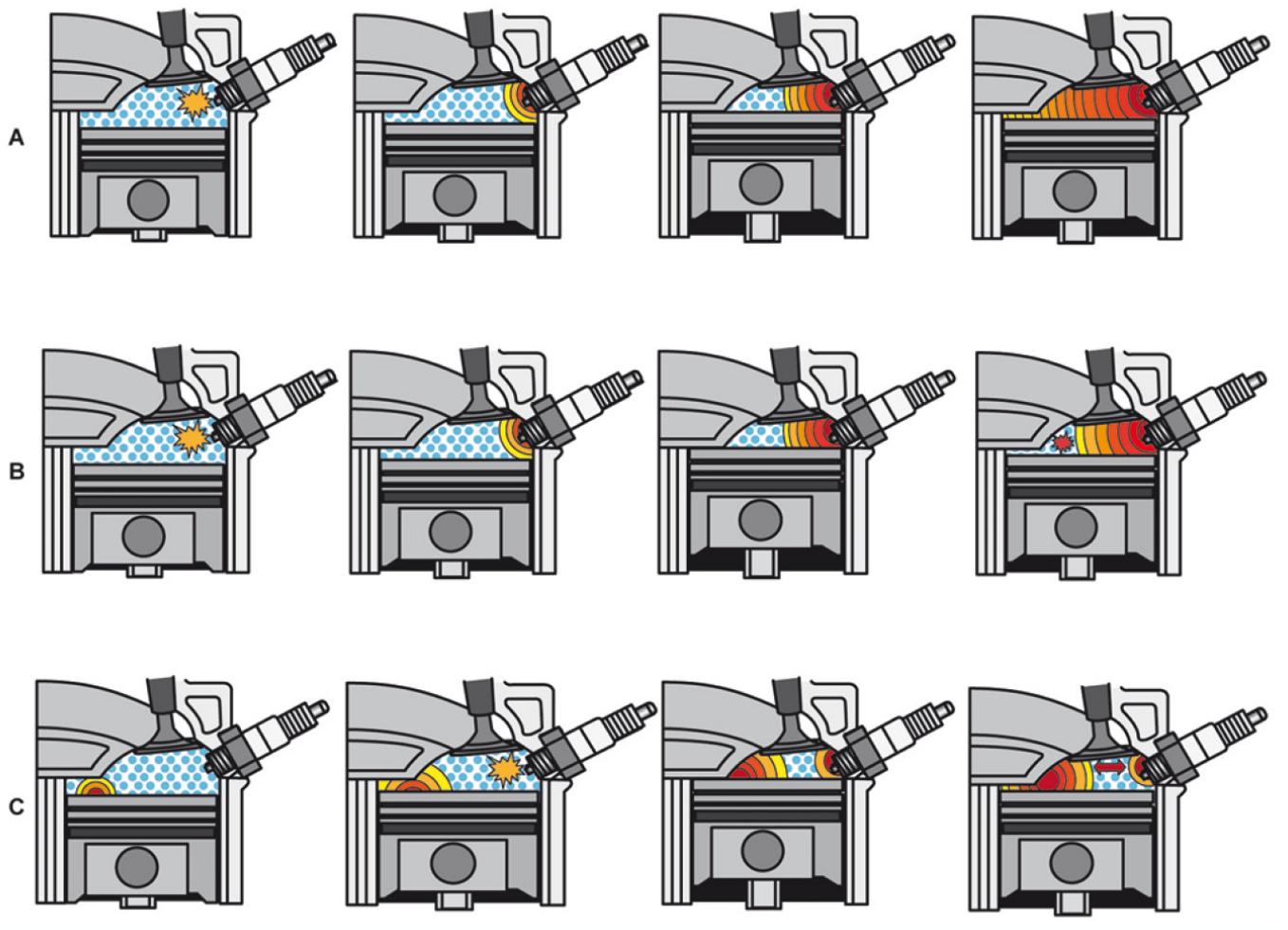


Figura 10.2. *Representación esquemática del proceso de combustión normal (A), combustión detonante (B) y autoencendido (C).*

© Ediciones Paraninfo

cámara asciende a medida que progresa la combustión, obteniendo su máximo en el momento que termina. La velocidad de la combustión depende de muchos factores, entre ellos la riqueza de la mezcla. Las mezclas ricas generan una elevada velocidad de combustión, a pesar de poder desperdiciar parte del combustible. Las mezclas pobres provocan una combustión lenta que disminuye el rendimiento del motor y aumenta su temperatura de funcionamiento. Por otro lado, una gran turbulencia de la mezcla cuando esta entra en el cilindro en la fase de admisión, también aumenta la velocidad de combustión.

- **Combustión anormal:** se denomina combustión anormal cuando esta no se origina en el momento del salto de chispa de la bujía y su evolución no es gradual hasta quemar toda la mezcla. Los tipos más comunes de combustión anormal son:

  – **Detonación:** el fenómeno de la detonación se representa en la Figura 10.2.B. La combustión se inicia tras el salto de chispa y avanza progresivamente hasta que parte de la mezcla sin quemar se inflama bruscamente por la presión y temperatura de los productos quemados. Esta inflamación brusca es transmitida a la cabeza del pistón y puede provocar daños graves en el motor. Además, al aumentar la temperatura dentro de la cámara de combustión, puede producirse el autoencendido de la mezcla. Estos efectos de la combustión anormal se pueden apreciar como un ruido audible a modo de golpeteo o cliqueteo, conocido como «picado de biela».

  – **Autoencendido:** es un caso de combustión anormal que consiste en iniciar la combustión de la mezcla antes del salto de chispa de la bujía, como muestra la Figura 10.2.C. Esto suele ser debido a la formación de algún punto caliente dentro de la cámara de combustión, normalmente por acumulación de carbonilla. Instantes más tarde salta la chispa y se origina una nueva combustión de la mezcla. De esta forma se tienen dos frentes de llama que hacen que aumente mucho la presión y la temperatura de la cámara de combustión, pudiendo ocasionar graves daños en el motor y realimentar el fenómeno del autoencendido.

Sabías que...

El autoencendido también se conoce con el nombre de encendido superficial y se denomina preencendido cuando se produce antes del salto de chispa y postencendido cuando ocurre tras el mismo.

10.2. El carburador

10.2.1. Características, componentes y funcionamiento

Antes de proceder al estudio del sistema de alimentación con carburador es conveniente tener una visión general de sus componentes. Siguiendo la Figura 10.3, el sistema se divide en dos circuitos principales: el circuito de aire y el circuito de combustible. El circuito de aire se compone del conducto de admisión (1) y del filtro de aire (2) contenido en una carcasa de plástico, que se une a la parte superior del carburador (3). El circuito de combustible parte del depósito (4), del que sale el conducto de alimentación (5), que pasa por el filtro de combustible (6) hasta llegar a la bomba de alimentación (7). El combustible tiene dos caminos a la salida de la bomba: hacia el carburador por el conducto (8) o hacia el retorno al depósito por el conducto (9).

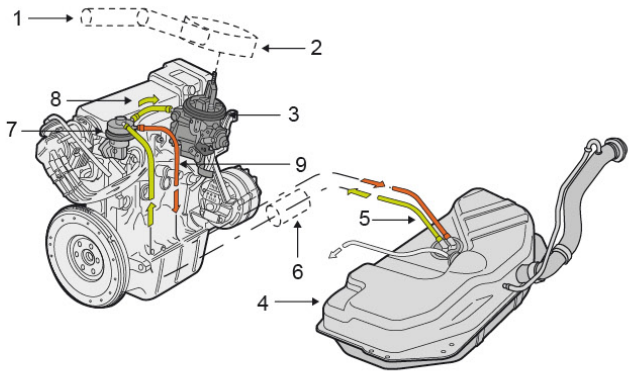


Figura 10.3. *Componentes del sistema de alimentación con carburador.*

A continuación se explican detalladamente cada uno de los elementos del sistema:

- **Circuito de aire:**

– **Conductos de admisión:** los conductos de admisión transportan el aire aspirado hasta la entrada al carburador. Suelen fabricarse de plástico y tienen diferentes geometrías, incluyendo cajas de expansión que hacen de resonadores para reducir el ruido de admisión. El aire es aspirado desde algún lugar donde no se formen turbulencias y resulte complicado la entrada accidental de agua. Normalmente se dispone de una válvula termostática, que permite la aspiración de aire desde un entorno próximo al colector de escape, cuando la temperatura ambiente es baja. Esta válvula o trampilla puede ser gobernada por un termostato de cápsula de cera, como el que aparece en la Figura 10.4.A, o a través de

© Ediciones Paraninfo

la depresión del colector de admisión interponiendo una válvula térmica, como se indica en la Figura 10.4.B.

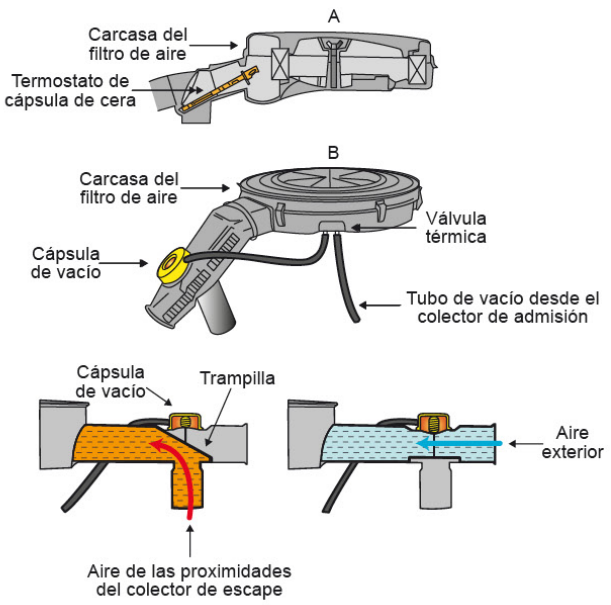


Figura 10.4. *Válvula termostática del conducto de admisión.*

Sabías que...

En algunos motores se dispone la toma de aire del exterior a favor de la marcha del vehículo para tener una entrada forzada de aire a alta velocidad y aumentar la potencia del motor.

– **Filtro de aire:** es un elemento indispensable que evita la entrada de partículas al motor, como polvo o insectos. La entrada de polvo puede dañar gravemente el motor por actuar como un elemento abrasivo. Las principales características del filtro son:

» *Gran capacidad filtrante y poder de acumulación*: el filtro se diseña para cambiar bruscamente la dirección del aire de entrada con el fin de separar las partículas. Por otro lado, el tamaño del poro es muy importante ya que de él depende el diámetro de partícula máximo que puede entrar en el motor, siendo el orden de magnitud de micras. Además, debe ser capaz de almacenar las partículas sin saturarse para cumplir con intervalos largos de mantenimiento, prescritos por el fabricante. La eficiencia filtrante se mide en tanto por ciento, es decir, que un filtro con eficiencia del 99,6 % es capaz de retener 99,6 gramos de partículas por cada 100 gramos de partículas entrantes.

» *Mínima pérdida de carga*: para que la restricción al paso de aire sea lo menor posible y no afectar al llenado del motor.

Recuerda que...

Siempre que se sustituya el filtro de aire debe hacerse por uno igual o equivalente al indicado por el fabricante, a fin de respetar el tamaño de poro y tener la misma capacidad filtrante.

Los filtros de aire suelen fabricarse en fibras de celulosa, algodón o fibra de vidrio. Algunos son de baño de aceite, actualmente casi en desuso, siendo los más utilizados los secos, como los mostrados a modo de ejemplo en la Figura 10.5. Para aumentar la eficiencia del filtro, el papel puede impregnarse de resinas fenólicas.

Figura 10.5. *Diferentes filtros de aire.*

• **Circuito de combustible:**

– **Depósito:** el depósito de combustible tiene una estructura como la representada en la Figura 10.6.A. El combustible se introduce por la boca (1), estando el nivel máximo de repostado controlado por el tubo de ventilación (2), que permite evacuar el aire contenido en el depósito a medida que este se llena. Para evacuar los gases generados por el movimiento del líquido y la temperatura, se dispone del orificio calibrado (3), que deja paso a los vapores hasta el decantador (4), favoreciendo la condensación de los mismos, pudiendo retornar al depósito, siendo la fracción que no se condensa dirigida hacia la boca. La Figura 10.6.B muestra otros elementos del depósito, como el tapón de llenado, que asegura el cierre estanco a través de una junta. Los vapores son evacuados por medio de un orificio calibrado que no está tapado por dicha junta. Otra forma de aliviar la presión del depósito

© Ediciones Paraninfo

es instalando una válvula en el propio tapón. También puede observarse el conjunto aforador, que se compone de un conducto por el que aspira el combustible del depósito, interponiendo una malla filtrante, y por el mecanismo de información de nivel. Este mecanismo tiene un flotador, que estará en el nivel de llenado en cada momento, unido por una varilla a una resistencia variable, que variará la intensidad de corriente que pasa por la bobina de mando del indicador de nivel de combustible del cuadro, como el de la Figura 10.6.C. El nivel de reserva, indicado a través de un testigo naranja en el cuadro, se detecta a partir de una determinada posición de la resistencia variable o a través de un flotador adicional.

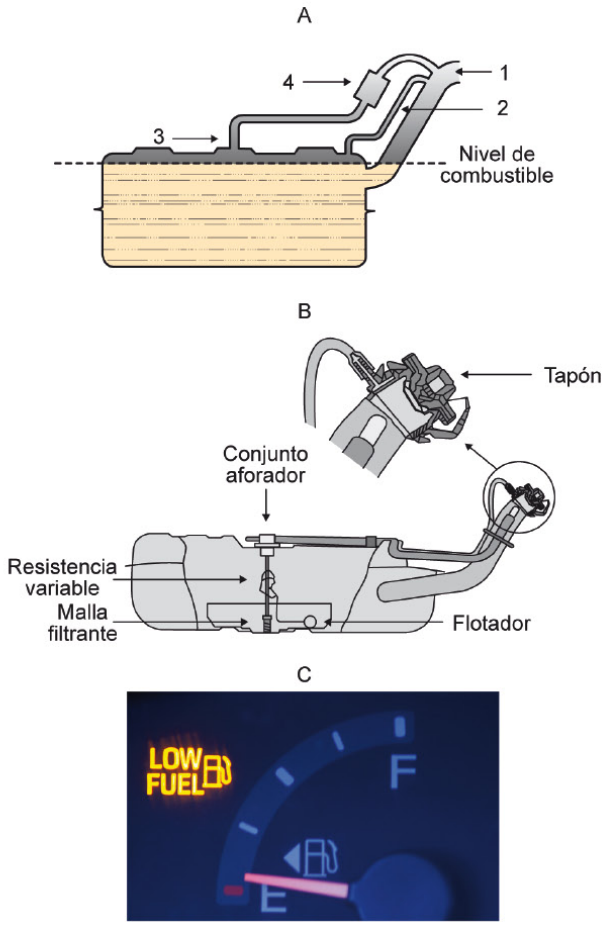


Figura 10.6. *Depósito de combustible y elementos del mismo.*

Sabías que...

Normalmente el indicador de nivel de combustible incorpora un sistema de retardo para evitar las oscilaciones bruscas de la aguja en las curvas.

Recuerda que...

La evacuación de los vapores del depósito de combustible al exterior está prohibida en la actualidad por la normativa anticontaminación. Los sistemas explicados hasta ahora se refieren a vehículos fabricados con anterioridad a dicha normativa.

– **Filtro de gasolina:** se encarga de retener las pequeñas partículas que pudiese transportar el combustible evitando que lleguen al sistema de alimentación y de ahí al motor. El elemento filtrante suele ser papel plegado y con un tamaño de poro determinado. El filtro se ubica dentro de una carcasa de plástico o metálica, formando ambos un conjunto no desmontable, como puede verse en la Figura 10.7. La carcasa es metálica cuando la presión del sistema de alimentación es elevada, siendo el material acero galvanizado resistente a la presión. La sustitución del filtro ha de hacerse con la periodicidad indicada por el fabricante y por uno igual o equivalente, respetando el sentido de montaje, que suele ir indicado con una flecha apuntando hacia el motor.

Figura 10.7. *Diferentes filtros de combustible: con carcasa de plástico (izquierda) y con carcasa metálica (derecha).*

– **Bomba:** la bomba de combustible es la encargada de transportar el combustible desde el depósito hasta el carburador, ya que este está a una cota más elevada. Existen diferentes tipos de bombas que se dividen en dos grandes grupos: las mecánicas y las eléctricas.

Un ejemplo de bomba mecánica es la que aparece representada en la Figura 10.8. Este tipo de bombas son accionadas por una leva adicional o excéntrica (1) del árbol de

© Ediciones Paraninfo

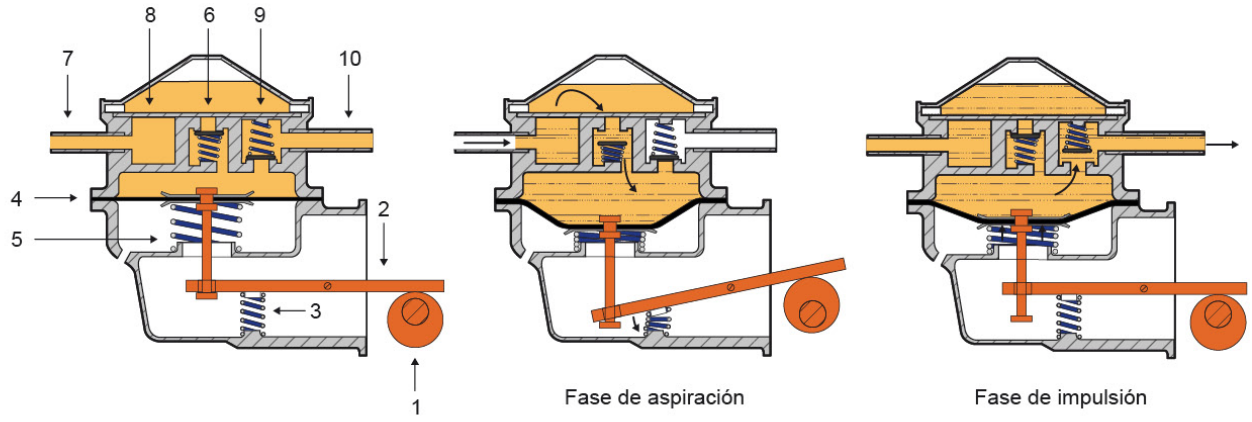


Figura 10.8. *Funcionamiento de una bomba de gasolina mecánica.*

levas, que mueve la palanca (2), perteneciente a la bomba, que se mantiene siempre apoyada sobre la leva gracias al muelle (3). La palanca está unida a un vástago y a su vez a la membrana (4). Cuando la excéntrica ataca la palanca, desciende la membrana, venciendo la fuerza del muelle (5). En este momento comienza la fase de aspiración, ya que el descenso de la membrana genera una depresión que provoca la apertura de la válvula de aspiración (6), permitiendo el paso de combustible solo en sentido de entrada. El combustible es aspirado del depósito a través del conducto (7) y antes de pasar por la válvula de impulsión atraviesa un filtro metálico (8) que retiene posibles impurezas. A continuación tiene lugar la fase de impulsión. Cuando la excéntrica deja de atacar la palanca, la membrana vuelve a ascender con la ayuda del muelle, que, en función de su tarado, la bomba generará más o menos presión de suministro, que suele tener un valor de unos 0,25 bar. En esas circunstancias, el combustible aspirado es comprimido y solo puede ser evacuado por la válvula de impulsión (9), que deja pasar el fluido en un único sentido, opuesto al de aspiración. De esta forma, el combustible es enviado al carburador por el conducto (10).

La bomba de gasolina ha de enviar el combustible al carburador en cualquier condición de funcionamiento del motor, pero hay momentos en los que no hace falta tanto suministro, la cuba del carburador está llena y la aguja cerrada. Esto es así para que la cuba tenga un nivel constante. Para esta circunstancia, la bomba debe tener algún dispositivo de regulación, que suele ser por palanca deslizante, como puede verse en la Figura 10.9. Cuando la cuba se llena, el muelle que hace ascender la membrana está comprimido por no poderse evacuar el combustible. De esta forma, el vástago unido a la membrana permanece en su posición inferior y aunque la excéntrica actúe sobre la palanca, esta no arrastra el vástago.

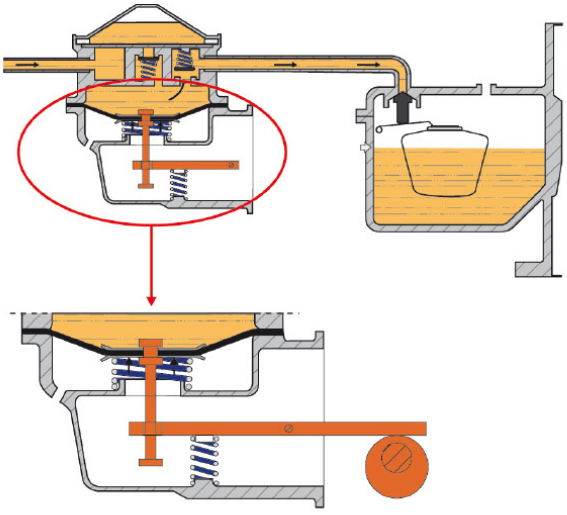


Figura 10.9. *Mecanismo de autorregulación de la bomba por palanca deslizante.*

La Figura 10.10 muestra una bomba de gasolina mecánica seccionada, como la explicada anteriormente.

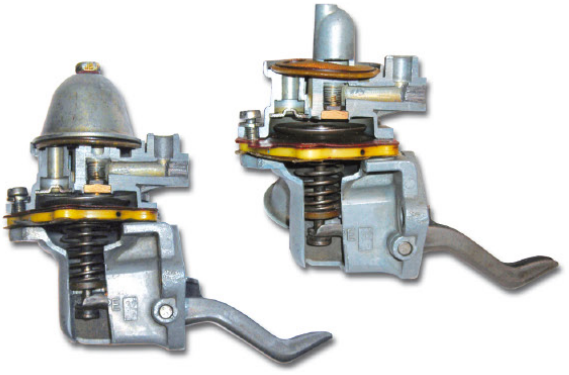


Figura 10.10. *Bomba de gasolina mecánica seccionada.*

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

La presión de alimentación puede ser modificada variando la rigidez del muelle de la membrana y el caudal suministrado cambiando el espesor de la junta de la bomba con el bloque, ya que a su vez se modificará el punto de aplicación de la excéntrica de la palanca con respecto al punto de apoyo. De esta forma se aumenta o disminuye el recorrido del vástago y la capacidad de aspiración e impulsión de la bomba.

Otro tipo de bomba mecánica, como la de la Figura 10.11, tiene un funcionamiento similar excepto que el vástago de la membrana es atacado directamente por la leva o excéntrica adicional del árbol de levas.

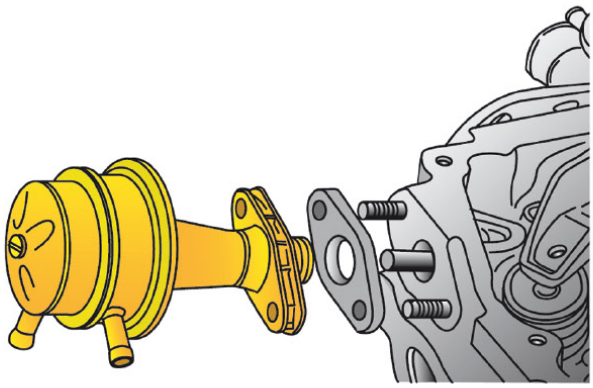


Figura 10.11. *Bomba de gasolina mecánica cuyo vástago de la membrana es atacado directamente por la excéntrica.*

También existen bombas eléctricas. La primera evolución de este tipo de bombas tiene un funcionamiento similar a las mecánicas pero en vez de moverse el vástago de la membrana por una palanca accionada por una excéntrica del árbol de levas, es movida por un electroimán. La Figura 10.12 muestra un esquema de este tipo de bomba y su aspecto exterior. El electroimán es alimentado con tensión de batería, que proviene del relé taquimétrico. Con el campo magnético generado, se desplaza el núcleo hacia abajo, al que está unido el vástago de la membrana, aspirando combustible. Cuando ha alcanzado su posición inferior se separan los contactos, interrumpiendo la fuerza de atracción y volviendo la membrana a su posición inicial empujada por el muelle. En ese momento se produce la impulsión del combustible. El ciclo se repite constantemente mientras el electroimán esté alimentado eléctricamente. Cuando la cuba está llena, el muelle permanece comprimido, el núcleo en su posición más baja y los contactos abiertos, interrumpiéndose la aspiración.

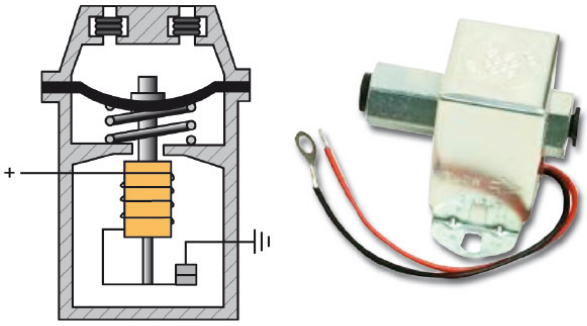


Figura 10.12. *Bomba eléctrica de electroimán.*

Recuerda que...

El relé taquimétrico tiene la función principal de alimentar el motor eléctrico de la bomba de combustible solo cuando el motor está girando, recibiendo la señal de revoluciones, normalmente del negativo de bobina. Existen otros relés más sofisticados, que además pueden estar temporizados para funcionar cuando el contacto está puesto y, si no se activa el arranque tras unos segundos, interrumpir la alimentación de la bomba. Así se puede cebar el circuito de alimentación para facilitar el arranque.

En algunas aplicaciones con carburador y de forma imprescindible en motores de inyección, es necesaria una bomba de rodillos movida por un motor eléctrico, alimentado por el relé taquimétrico. El funcionamiento de la bomba puede observarse en la Figura 10.13.A. Un motor eléctrico mueve la bomba de rodillos, que consiste en una cámara cilíndrica o estator, en cuyo interior gira un rotor de forma excéntrica. El rotor lleva dispuestos en su exterior unos rodillos que, debido a la fuerza centrífuga del giro son dirigidos hacia el exterior, actuando como una junta rotativa. Estos rodillos generan en la zona de entrada de combustible una cámara de volumen variable que aumenta y después disminuye según se aproxima a la zona de impulsión, produciéndose la aspiración y la impulsión, respectivamente. Se dispone una válvula de retención antirretorno para que el combustible impulsado no pueda volver a la bomba. Por otro lado se instala una válvula de seguridad que se encarga de limitar la presión de alimentación, que, cuando alcanza un cierto valor, hace retornar el combustible a la zona de aspiración. Aunque el motor eléctrico está en contacto con la gasolina, no existe riesgo de inflamación porque no hay presencia oxígeno. El aspecto exterior de este tipo de bombas es el mostrado en la Figura 10.13.B, pudiéndose ver el detalle de las conexiones eléctricas. Un ejemplo de montaje es el indicado en la Figura 10.13.C, donde se instala fuera del depósito y con un prefiltro en la salida, para retener impurezas.

© Ediciones Paraninfo

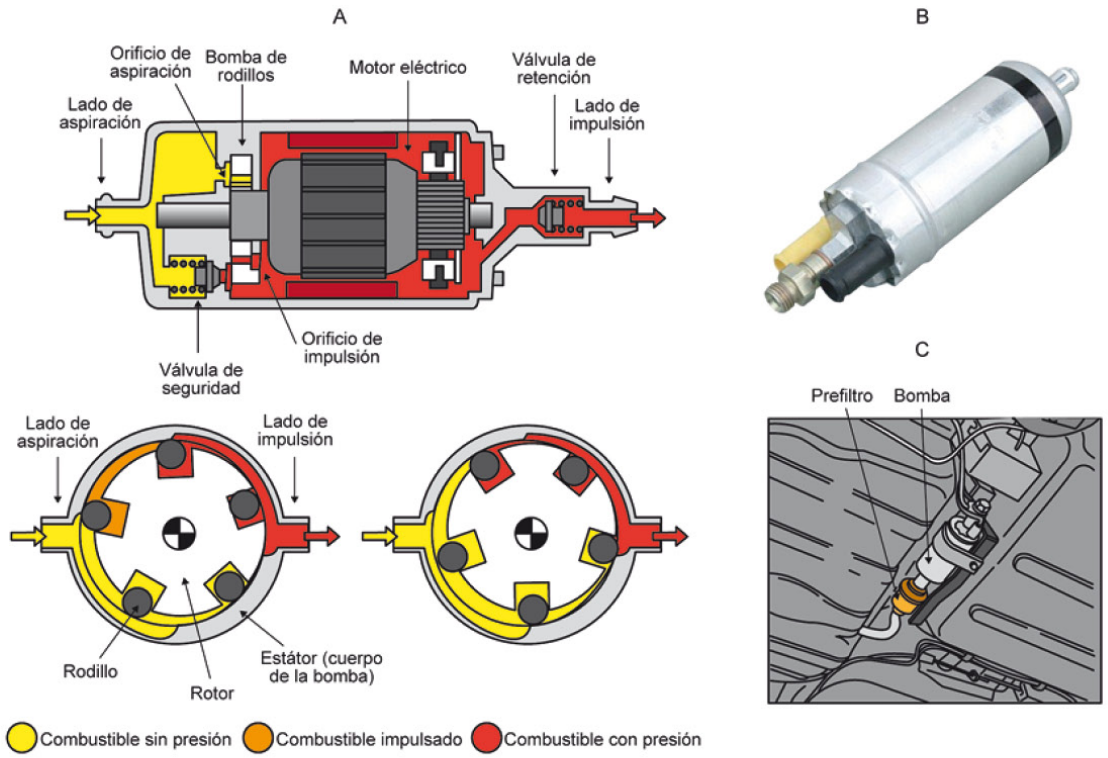


Figura 10.13. *Elementos de la bomba eléctrica de rodillos (A), aspecto exterior (B) y ejemplo de instalación (C).*

Sabías que...

La instalación de bombas eléctricas fuera del depósito requiere que estén unidas a la carrocería a través de bridas engomadas o interponiendo silentblocks, con el fin de minimizar el ruido. Actualmente, esta disposición constructiva está en desuso y se instalan en el interior del depósito formando un conjunto con el aforador. De esta forma el ruido debido a la bomba es casi imperceptible.

Para evitar la formación de bolsas de vapor, el circuito de alimentación debe:

- **Evitar la transferencia de calor a la bomba de combustible:** instalándola en un lugar donde se refrigere con el aire de marcha o interponiendo juntas con capacidad aislante entre el bloque y la bomba.
- **Controlar la temperatura del combustible:** disponiendo un conducto de retorno al depósito del combustible sobrante, disminuyendo allí su temperatura.
- **Separar el combustible vaporizado:** interponiendo un decantador en el circuito de alimentación de forma que el combustible en fase líquida continúe su recorrido y el que está en fase de vapor retorne hacia el depósito, condensándose.

- **Circuito de mezcla:**

El circuito de mezcla está formado por los siguientes elementos.

– **Carburador:** es el elemento encargado de formar la mezcla. Su estudio detallado se realizará posteriormente.

– **Colector de admisión:** su función es repartir la mezcla entre los diferentes cilindros. Su geometría es de vital importancia a la hora de optimizar el rendimiento volumétrico del motor y, por tanto, sus prestaciones. La homogeneización de la mezcla tiene lugar en gran medida en el colector de admisión.

– **Cámara de combustión:** aunque no forma parte del sistema de alimentación, su geometría y configuración tiene una enorme influencia en la homogeneización de la mezcla, junto con el colector de admisión.

A continuación se va a hacer un estudio del carburador, partiendo del concepto de carburador elemental y añadiendo los circuitos necesarios para cubrir las necesidades de mezcla del motor en cualquier condición operativa.

El objetivo del carburador es formar la mezcla de combustible y aire, estando bien dosificada y repartida lo más homogéneamente posible. Para ello, debe succionar una

© Ediciones Paraninfo

cantidad de gasolina proporcional a la velocidad de aire, siendo este el aspirado por el motor en cada momento, como muestra la Figura 10.14. Para conseguir esto, se necesitan dos elementos: la cuba, que constituye un depósito de reserva de combustible, y la mariposa de gases, que controla la cantidad de mezcla admitida.

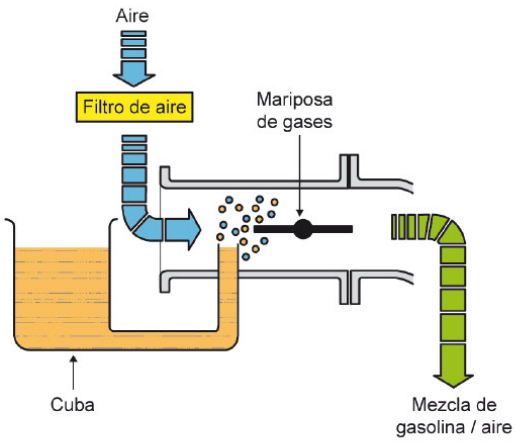


Figura 10.14. *Objetivo general del carburador: formar la mezcla de gasolina y aire.*

Con el sistema anterior se deduce que es más fácil aspirar aire que gasolina. Por este motivo es necesario modificar el conducto de aspiración para mejorar la succión de gasolina. Esto es posible gracias al efecto Venturi, que consiste en que un fluido que se mueve por el interior de un conducto cerrado, disminuye su presión cuando aumenta su velocidad tras pasar por un estrechamiento. Por tanto, si en la zona de menor sección o estrechamiento se conecta otro conducto que contiene gasolina, se producirá la aspiración de esta y se incorporará al conducto principal, por el que inicialmente circulaba aire. Lo anterior se cumple si el aire circula por el conducto principal en régimen laminar, es decir, sin que las líneas de flujo se entrecrucen y cada partícula sigue una trayectoria suave, en caso contrario el régimen se denomina turbulento.

La demostración de este fenómeno se puede realizar a través de la ecuación de continuidad, que establece que el caudal es constante, de la siguiente forma:

$$v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = cte$$

De lo anterior se deduce que, la igualdad se cumple si la velocidad del fluido en el tramo de tubería que tiene menor sección, es mayor que la velocidad en el tramo de mayor sección, como indica gráficamente la Figura 10.15. Esto es así porque para conservar el caudal, es decir, el volumen de líquido por unidad de tiempo, en el tramo de menor sección, el fluido ha de moverse con mayor rapidez, recorriendo más espacio (e) en la misma unidad de tiempo.

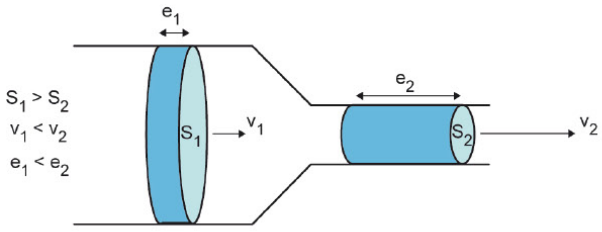


Figura 10.15. *Representación gráfica de la ecuación de continuidad.*

Por otro lado, el Teorema de Bernoulli describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente, a través de la siguiente expresión:

$$\frac{v_1^2 \cdot \rho}{2} + P_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 = \frac{v_2^2 \cdot \rho}{2} + P_2 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

Donde:

v_i es la velocidad del fluido en la sección considerada.

ρ es la densidad del fluido.

P es la presión del fluido en la sección considerada.

g es el valor de la gravedad.

h es la altura desde una cota de referencia.

La Figura 10.16 muestra gráficamente los parámetros del Teorema de Bernoulli.

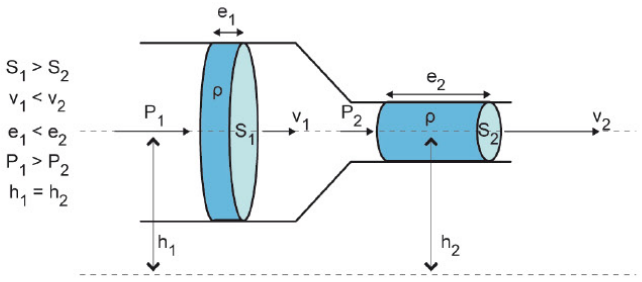


Figura 10.16. *Representación gráfica de los parámetros del Teorema de Bernoulli.*

Como se supone que la densidad del fluido es constante y se toma la misma cota de referencia, es decir, $h_1 = h_2$, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\frac{v_1^2 \cdot \rho}{2} + P_1 = \frac{v_2^2 \cdot \rho}{2} + P_2$$

Observando la expresión anterior, puede deducirse que para conservar la igualdad, si $v_1 < v_2$, entonces $P_1 > P_2$,

© Ediciones Paraninfo

quedando demostrado que si aumenta la velocidad en la sección 2, disminuye la presión en dicha sección y se produce una depresión por la que se aspira el líquido. En la Figura 10.17 queda simbolizado este hecho, ya que si se supone que sobre el conducto de mayor sección existe una columna de líquido de altura a_1, tras el estrechamiento, la altura será a_2, siendo a_1 mayor que a_2, debido a una disminución de la presión en el conducto de menor sección.

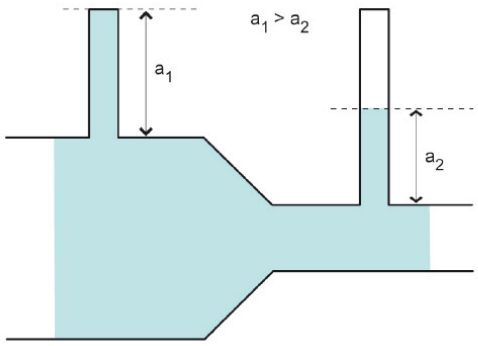


Figura 10.17. *Representación simbólica de la disminución de la presión existente en un conducto de menor sección en relación a otro de mayor sección.*

La realización práctica para aprovechar el efecto Venturi en el carburador es la que se muestra la Figura 10.18.A. Para potenciar aún más el fenómeno se monta un centrador o segundo Venturi, como el que puede verse en la Figura 10.18.B, siendo esta configuración la más habitual.

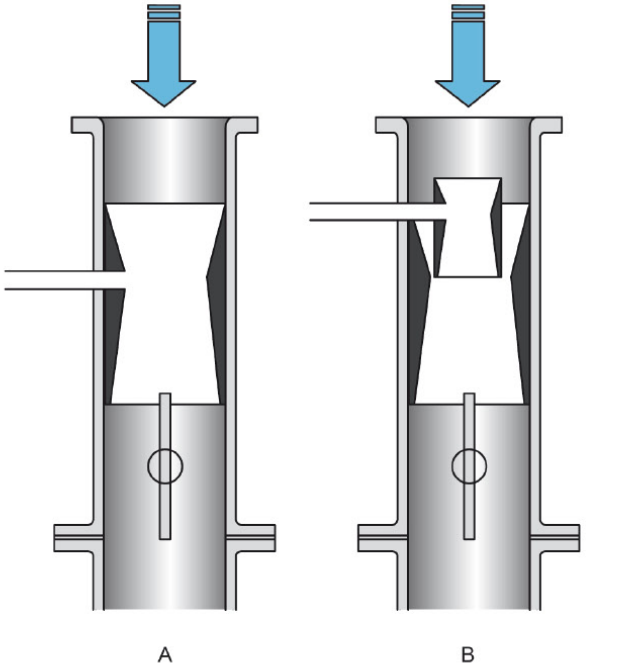


Figura 10.18. *Aplicación del efecto Venturi en el carburador. Con un Venturi (A). Con doble Venturi (B).*

Una vez establecido el Venturi para maximizar el arrastre de combustible hay que fijar un diámetro determinado que ofrezca un caudal de gasolina preciso. Esto se consigue con un orificio de diámetro (D) calibrado, llamado surtidor o chiclé, como el que aparece en la Figura 10.19. El diámetro del surtidor está ajustado hasta centésimas de milímetro, ya que de él y de la cantidad de aire aspirado dependerá el dosado, es decir, la relación de combustible y aire que el motor está admitiendo.

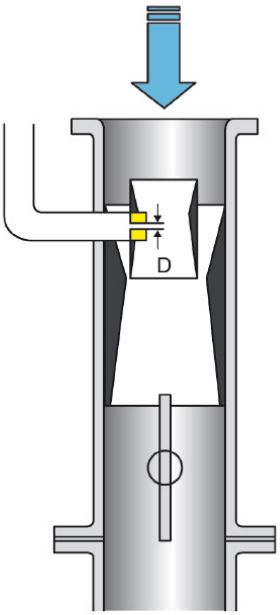


Figura 10.19. *Surtidor de gasolina de diámetro (D) calibrado.*

Para terminar de construir el carburador elemental es necesario instalar una cuba de nivel constante. La Figura 10.20.A muestra el ejemplo de una cuba cuyo nivel (h) está por encima del surtidor de gasolina. En ese caso se producirá una mezcla excesivamente rica por goteo de combustible a través del surtidor. Por otro lado, la Figura 10.20.B representa una cuba cuyo nivel (h) se encuentra muy por debajo del surtidor, produciéndose una mezcla excesivamente pobre por la dificultad que supone la succión del combustible. Por último, en la Figura 10.20.C puede verse la solución a este problema, con una cuba de nivel constante (h), que suele estar de 3 a 4 mm por debajo del surtidor. El nivel constante se consigue con un flotador que se va a mantener en el nivel del líquido que, cuando alcance su óptimo, la válvula de aguja cerrará el suministro de gasolina proveniente de la bomba.

Con los elementos anteriormente descritos se tiene el llamado carburador elemental, como el mostrado en la Figura 10.21. Este carburador consta de una cuba a nivel constante, un surtidor, un difusor o Venturi y una mariposa de gases.

© Ediciones Paraninfo

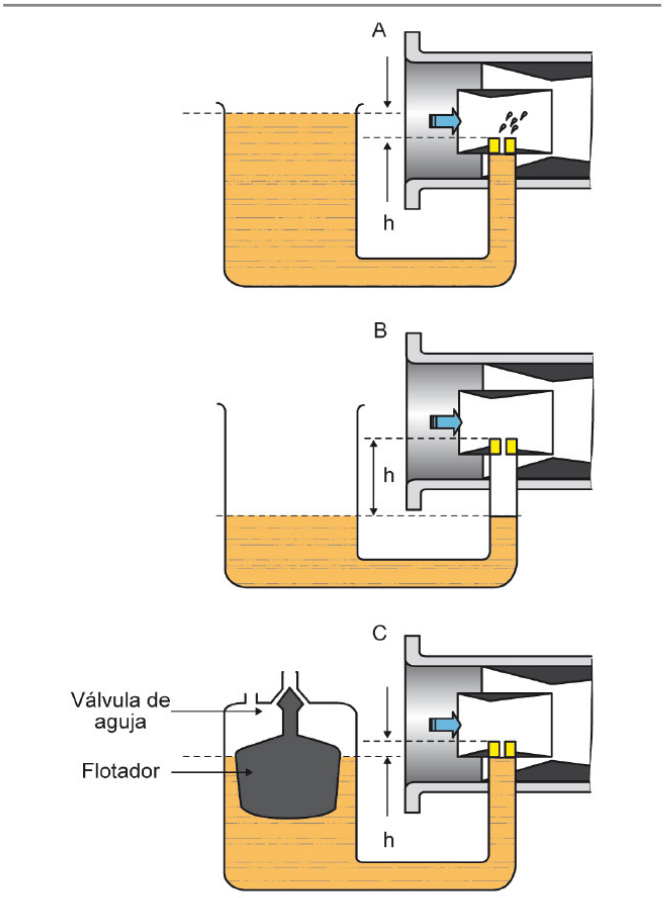


Figura 10.20. *Justificación de la necesidad de una cuba de nivel constante. Cuba con nivel por encima del surtidor (A). Cuba con nivel muy por debajo del surtidor (B). Cuba de nivel constante con flotador y válvula de aguja (C).*

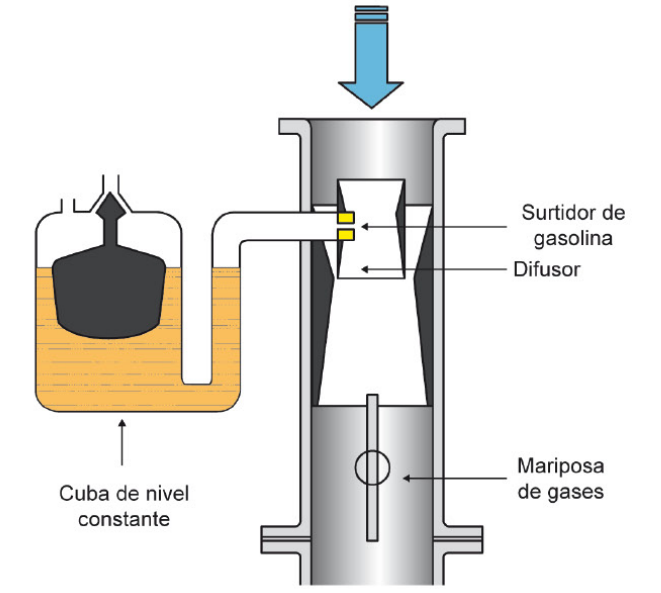


Figura 10.21. *Carburador elemental.*

En función de la posición relativa entre el surtidor y la entrada de aire, los carburadores pueden ser de tres tipos principalmente, como puede verse en la Figura 10.22: horizontal, vertical y vertical invertido. El más utilizado es el vertical invertido, ya que facilita la aspiración de la gasolina ayudada por la acción de la gravedad.

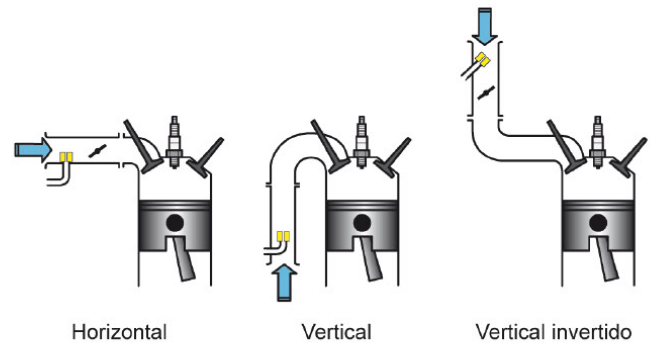


Figura 10.22. *Clasificación de los carburadores según la posición relativa del surtidor con la entrada de aire.*

A la vista de todo lo anterior, puede deducirse que el carburador que de forma didáctica se llama «elemental», solo puede funcionar de una manera óptima a un determinado régimen de giro y grado de carga del motor. La Figura 10.23 muestra gráficamente este hecho, ya que el dosado estequiométrico (1 g de gasolina por cada 15 g de aire) solo se produce en un punto y bajo ciertas condiciones.

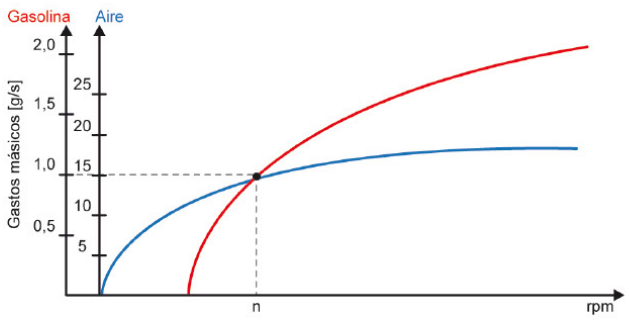


Figura 10.23. *Representación gráfica de la variación del dosado en el carburador elemental.*

Así, el carburador elemental presenta las siguientes limitaciones:

- No conserva el dosado y no puede adaptarlo a determinadas condiciones de demanda de potencia o transitorios.
- No tiene ralentí.
- No dispone de algún sistema para facilitar el arranque en frío.

© Ediciones Paraninfo

Dadas las limitaciones de este carburador, es necesario implementar diferentes sistemas o circuitos que perfeccionen su funcionamiento, explicados a continuación.

– **Circuito principal o de régimen normal (automaticidad):** el objetivo de este circuito es empobrecer la mezcla cuando el motor funciona a cargas parciales y varía su régimen de giro, como muestra simbólicamente la Figura 10.24.

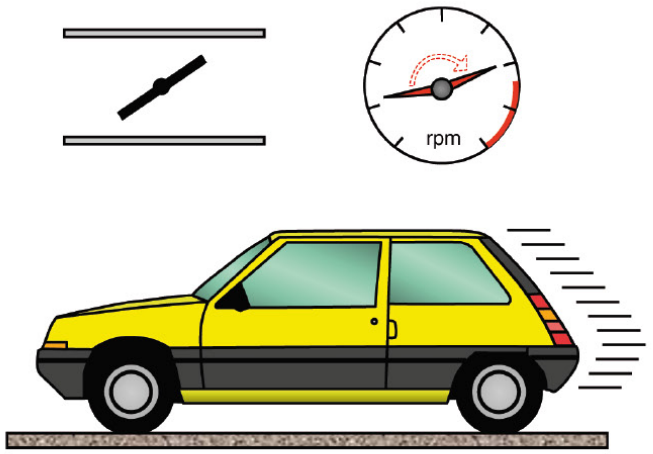


Figura 10.24. *Representación esquemática del funcionamiento del motor a cargas parciales, variando el régimen de giro.*

La forma más fácil de conseguir esta corrección automática de la mezcla es ajustar la curva de aspiración de gasolina a la de aire, como puede verse en la Figura 10.25, con el fin de funcionar con dosado estequiométrico.

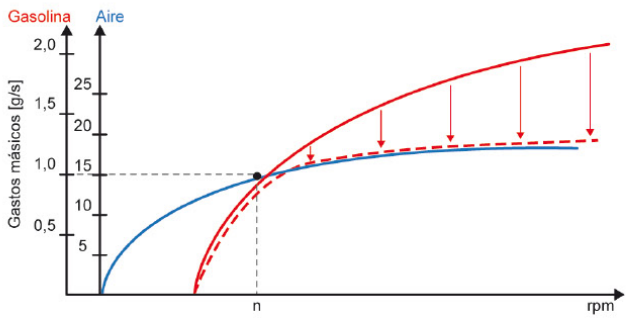


Figura 10.25. *Aproximación de la curva de combustible a la de aire.*

La solución práctica adoptada puede explicarse a través de la Figura 10.26. Si se supone que a la salida del surtidor principal se disponen tres chimeneas con una toma de aire cuyo orificio está calibrado, a medida que aumente la succión de gasolina, disminuirá el nivel y se irá comunicando progresivamente el circuito principal con el aire exterior. Esta disposición didáctica puede observarse en la Figura 10.26.A. De esta forma se produce un empobrecimiento de la mezcla a medida que aumenta la aspiración de gasolina, según aumenta el régimen de giro a un determinado grado de carga. La Figura 10.26.B representa el ajuste del dosado. Cuando el régimen de giro es bajo, la cantidad de gasolina aspirada sigue la trayectoria 1, pero a medida que aumenta el número de revoluciones, la aspiración provoca un descenso del nivel en la chimenea a, empobreciendo la mezcla. En estas circunstancias, la gasolina aspirada cambia a la trayectoria 2, hasta que al aumentar la succión desciende el nivel de la chimenea b y se mezcla con el aire que pasa por su orificio calibrado. Después ocurre lo mismo con la chimenea c, hasta llegar a la trayectoria final 4, a un régimen de giro ya elevado.

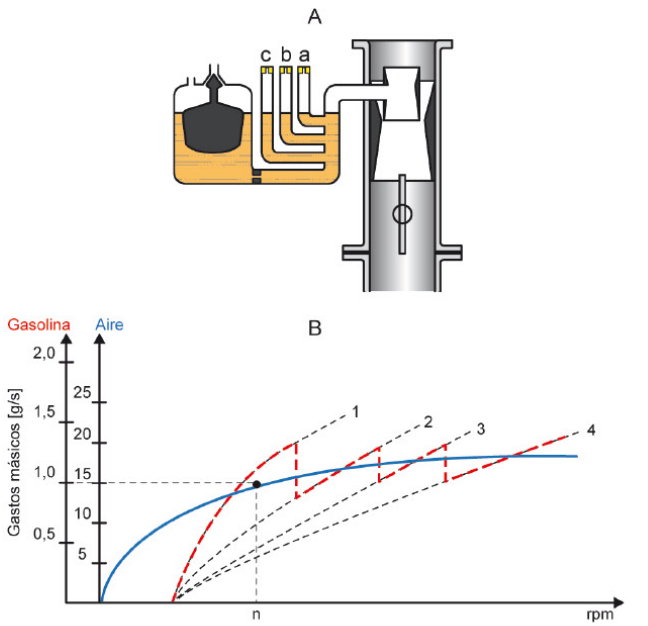


Figura 10.26. *Explicación del proceso de empobrecimiento automático de la mezcla en el circuito principal.*

La realización práctica del sistema de empobrecimiento del circuito principal es la mostrada en la Figura 10.27. En lugar de diferentes chimeneas se monta un tubo con orificios calibrados a diferentes alturas, llamado tubo emulsor (1). La toma de aire se realiza por el paso calibrado (2) que recibe el nombre de automaticidad. La relación de diámetros entre el surtidor principal (3) y la automaticidad establecerá la proporción de mezcla.

El circuito de régimen normal proporciona, por tanto, el dosado económico con el fin de ahorrar combustible cuando el vehículo circula a cargas parciales y en un régimen más o menos permanente. El dosado absoluto suele ser $F \approx \frac{1}{18}$ y el dosado relativo $F_R \approx 0{,}8$, confirmándose pues una mezcla pobre.

© Ediciones Paraninfo

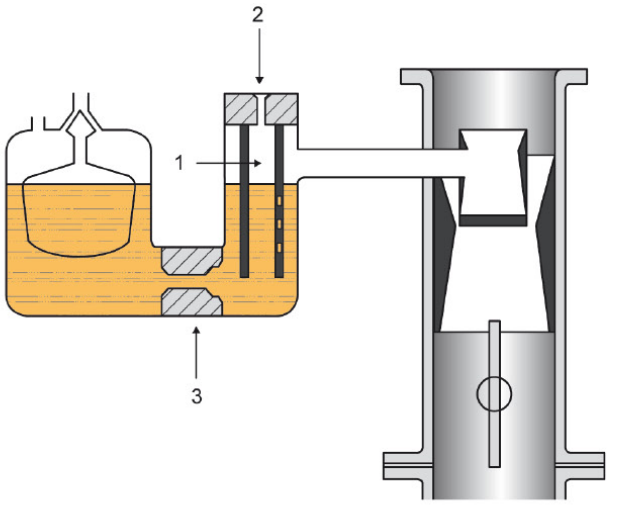


Figura 10.27. *Realización práctica del circuito principal o de régimen normal.*

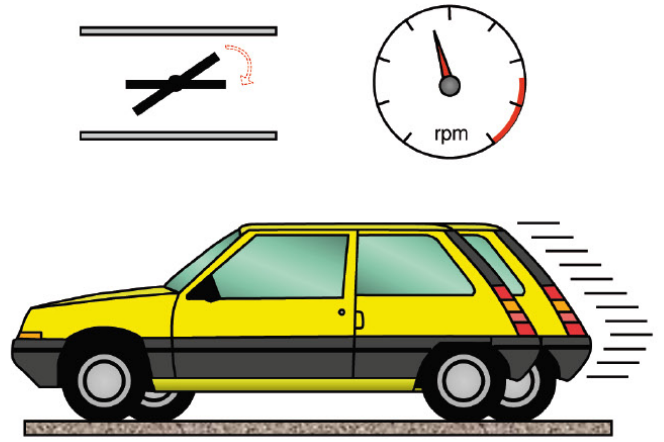


Figura 10.28. *Representación esquemática de la apertura brusca de la mariposa en fase de aceleración.*

– **Sistema de enriquecimiento en aceleraciones transitorias (bomba de aceleración):** cuando de repente se desea exigir prestaciones al motor y conseguir una aceleración, la mariposa de gases se abre completamente de forma casi instantánea, como representa esquemáticamente la Figura 10.28. En este momento el aire entra rápidamente, pero la aspiración de combustible coherente con dicha cantidad de aire tarda un cierto tiempo. Debido a esto, se produce un empobrecimiento momentáneo de la mezcla que puede ocasionar un salto o bache en el funcionamiento del motor.

Para enriquecer momentáneamente la mezcla y compensar este transitorio del motor se instala la bomba de aceleración, siendo el tipo más habitual el de membrana, explicado por medio de la Figura 10.29. Siguiendo la Figura 10.29.A, cuando se abre rápidamente la mariposa de gases (1), esta empuja a la varilla (2), que a su vez comprime el muelle (3) y mueve el balancín (4). El muelle se intercala en este mecanismo para que la bomba de aceleración no enriquezca la mezcla si la mariposa abre suavemente. El balancín empuja el vástago que desplaza la membrana (5), venciendo la fuerza de su muelle. El combustible almacenado en el cuerpo de la bomba de aceleración, por la disminución de volumen ocasionada por el movimiento de la membrana, es evacuado por la válvula unidireccional (6) y sale a través del inyector (7), aportando el combustible adicional. Cuando se suelta el pedal del acelerador, la mariposa de gases cierra y el balancín deja de oprimir el vástago de la membrana, recuperando esta su posición inicial gracias a su muelle. En estas

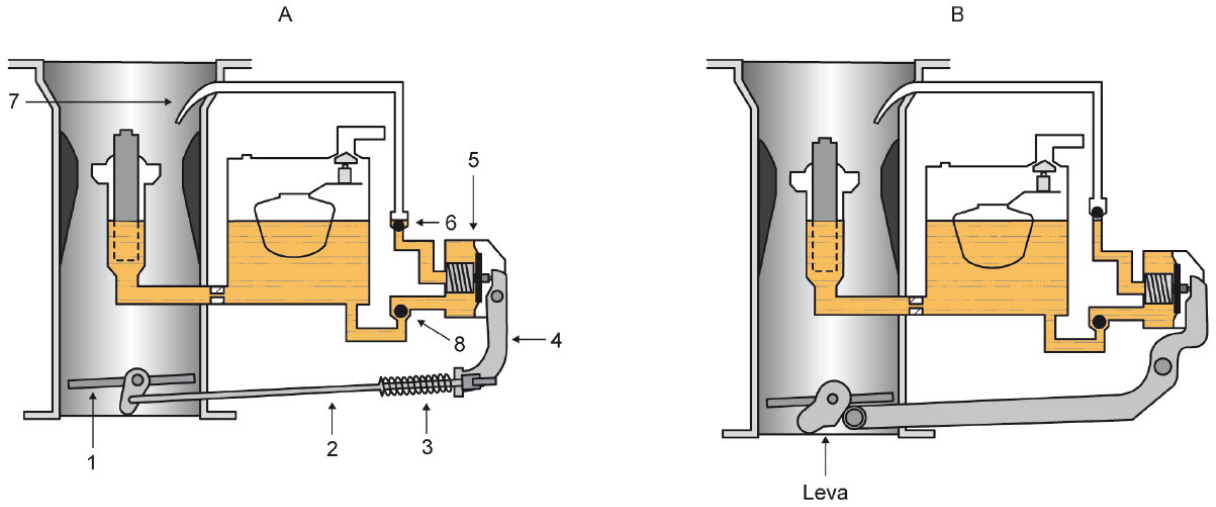


Figura 10.29. *Funcionamiento de la bomba de aceleración: con palanca (A) y con leva (B).*

© Ediciones Paraninfo

circunstancias, aumenta el volumen del cuerpo de la bomba y se produce una depresión, aspirando combustible de la cuba a través de la válvula unidireccional (8). Con esta última operación, la bomba queda cebada para la siguiente vez que se abra bruscamente la mariposa. Una variante de este sistema es el mostrado en la Figura 10.29.B, en el que el vástago de la membrana es movido por una palanca, a través de una leva en la mariposa de gases, consiguiéndose aportar el combustible adicional de una forma más precisa.

– **Sistema de enriquecimiento a plena carga (enriquecedor de plena carga):** cuando al motor se le demanda plena carga y no es capaz de aumentar el número de revoluciones, es necesario enriquecer la mezcla. La Figura 10.30 representa esquemáticamente esta circunstancia, por ejemplo, cuando se sube una pendiente. El enriquecimiento es necesario para aumentar la velocidad de combustión, ya que de lo contrario, disminuye el rendimiento del motor y tiende a calentarse.

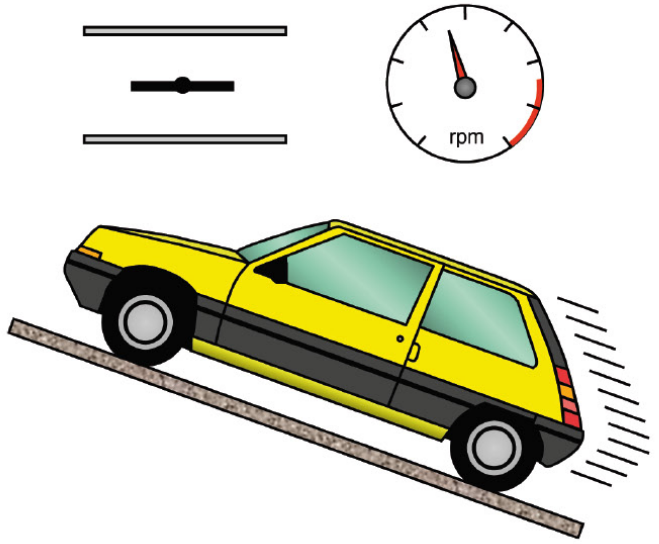


Figura 10.30. *Representación esquemática del funcionamiento del motor a plena carga sin variar el régimen de giro, como por ejemplo, la subida de una pendiente.*

Los enriquecedores de plena carga aumentan el dosado aportando una cantidad de combustible adicional por el surtidor principal cuando la mariposa ya está abierta totalmente, es decir, en condiciones de plena carga y a cualquier régimen de giro. El sistema más habitual es el de tipo neumático, cuyo funcionamiento se explica a través de la Figura 10.31. Cuando la mariposa está totalmente abierta, la depresión existente bajo la misma desaparece. La depresión hacía que la membrana del enriquecedor venciera la fuerza de su muelle y cerrara el paso de gasolina desde la cuba al circuito principal. Al desaparecer la depresión, el muelle de la membrana la desplaza y abre la válvula de paso, permitiendo el aporte de gasolina suplementario.

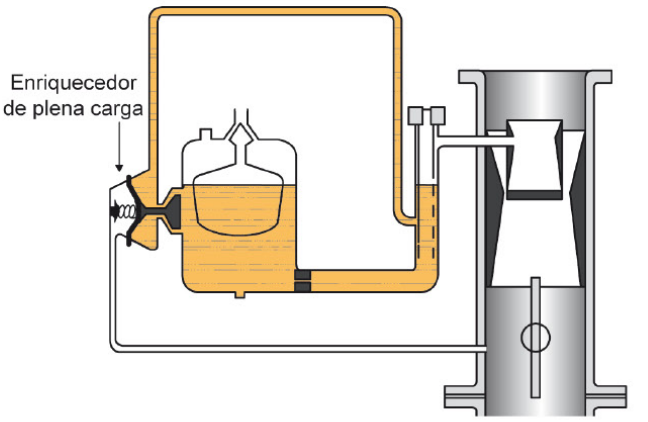


Figura 10.31. *Funcionamiento del enriquecedor neumático de plena carga.*

– **Sistema de enriquecimiento a plena potencia (enriquecedor de potencia máxima):** para conseguir la potencia máxima del motor debe poder alcanzarse el régimen de giro al que se produce, en condiciones de plena carga, como representa simbólicamente la Figura 10.32. En estas circunstancias es necesario conseguir un dosado absoluto $F \approx \frac{1}{12}$ o bien, un dosado relativo $F_R \approx 1{,}2$, aproximadamente.

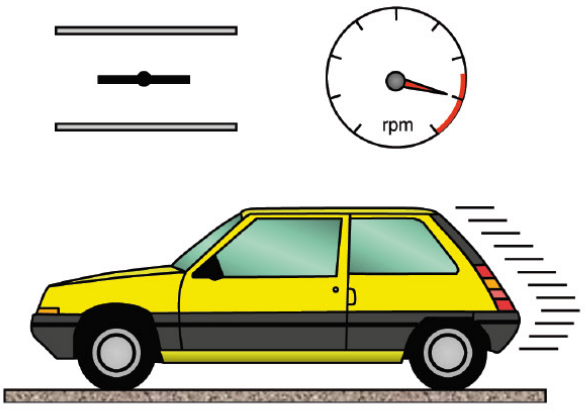


Figura 10.32. *Representación esquemática del funcionamiento del motor en condiciones de potencia máxima.*

El enriquecedor de plena potencia solo entra en funcionamiento a elevados regímenes de giro y cuando la mariposa de gases está abierta a partir de 10° antes de su apertura total. Si no se dispusiera de este sistema, para poder aplicar el dosado de máxima potencia, sería necesario un diámetro mayor del surtidor principal. De esta forma, el surtidor principal tiene un diámetro que ofrece la potencia suficiente a cargas parciales con el mínimo consumo. Los sistemas más empleados para este fin son los que aparecen en la Figura 10.33. La Figura 10.33.A muestra un enriquecedor de plena potencia simple, donde, a plena carga y elevado régimen de giro, la

© Ediciones Paraninfo

velocidad del aire es tan elevada que se aspira gasolina por el conducto del enriquecedor. El caudal de gasolina aportado se controla por un orificio calibrado. Por otro lado, la forma y posición del conducto determinan el comienzo de su funcionamiento. El inconveniente de este sistema es su poca precisión en el momento de aporte de la gasolina adicional y su posible funcionamiento en deceleración. Otro tipo de enriquecedor de plena potencia es el comandado, como el de la Figura 10.33.B. Su funcionamiento es muy similar al enriquecedor de plena carga, pero ahora el combustible adicional se aporta de forma independiente y no se añade al circuito principal.

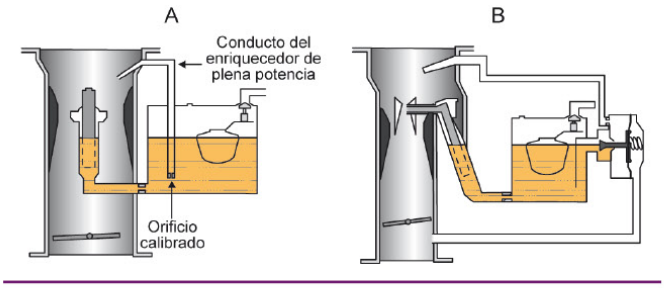


Figura 10.33. *Enriquecedor de plena potencia: simple (A) y comandado (B).*

Sabías que...

Al enriquecedor de plena potencia también se le suele llamar econostato.

– **Circuito de ralentí y de progresión:** cuando la mariposa de gases está cerrada y el motor gira a muy bajo régimen, como muestra esquemáticamente la Figura 10.34, no se produce una aspiración de combustible suficiente a la altura del difusor, por lo que el motor se pararía. Por este motivo, es necesario otro circuito donde la aspiración del combustible se produzca por debajo de la mariposa, para conseguir que el motor funcione al régimen de ralentí.

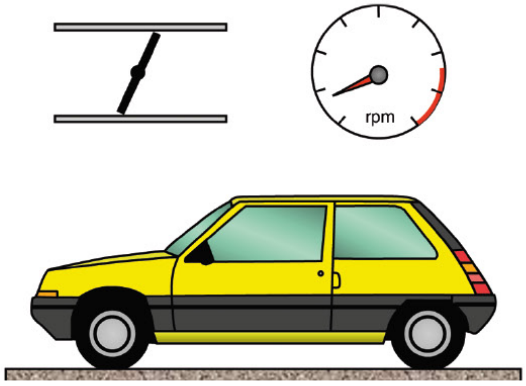


Figura 10.34. *Representación esquemática del funcionamiento del motor al régimen de ralentí.*

La Figura 10.35.A muestra una configuración típica del circuito de ralentí, que se alimenta de combustible después de pasar por el surtidor del circuito principal. En el circuito de ralentí, otro paso calibrado o surtidor se encarga de regular el caudal de gasolina, emulsionándose esta con el aire que pasa a través del orificio calibrado comunicado con el exterior. La mezcla se introduce por debajo de la mariposa y su cantidad es regulada a través del tornillo de riqueza, que limitará la emisión de monóxido de carbono (CO) al ralentí. Por otro lado, el tornillo de regulación del tope de la mariposa permitirá ajustar la cantidad de aire que entra en el motor y a su vez el régimen de giro de ralentí. Otro posible diseño del circuito de ralentí es el que aparece en la Figura 10.35.B, donde la entrada de aire no es controlada por el tornillo de tope de la mariposa, sino que esta tiene una posición de reposo prefijada invariable, y la cantidad de aire se regula a través del tornillo de regulación de entrada de aire. Posteriormente, el aire es incorporado al circuito de ralentí, antes de desembocar bajo la mariposa de gases. Con este sistema se consigue un mejor control de la cantidad de aire y una mezcla más homogénea, disminuyendo la emisión de CO al ralentí.

El motor necesita un sistema que le permita pasar del régimen de ralentí al régimen normal, de forma suave. Con los elementos explicados hasta ahora, al abrir la mariposa de gases desde el régimen de ralentí, el motor tendería a calarse porque en el momento de la apertura, aumenta rápidamente la cantidad de aire, pero la aspiración de combustible tarda en producirse, no obteniéndose una proporción de mezcla apropiada para la combustión. Para evitar esto, se instala el circuito de progresión, que consiste en comunicar el circuito de ralentí con el de entrada de aire, a diferentes alturas, a través de unos orificios o de una ranura. Según se va abriendo la mariposa de gases, se van descubriendo estos orificios de progresión, permitiendo la aspiración de más cantidad de mezcla, paulatinamente. De esta forma, se va compensando la mayor aspiración de mezcla con la mayor entrada de aire que va permitiendo la mariposa. La Figura 10.35.C muestra un esquema del circuito de progresión. En la Figura 10.35.D puede apreciarse un sistema de progresión con mayor número de orificios y otro elemento importante, el orificio de irreversibilidad, que transmite la depresión del difusor al circuito de ralentí, haciendo que siempre esté lleno. Así, se asegura el cebado del circuito cuando se cierre la mariposa de gases, evitando el calado del motor. Además, cuando se produce una gran depresión en el difusor, se puede arrastrar cierta cantidad de mezcla por el orificio de irreversibilidad, que ayuda a su autolimpieza, impidiendo que se obture por restos de aceite, por ejemplo, debidos al reciclaje de vapores del cárter.

© Ediciones Paraninfo

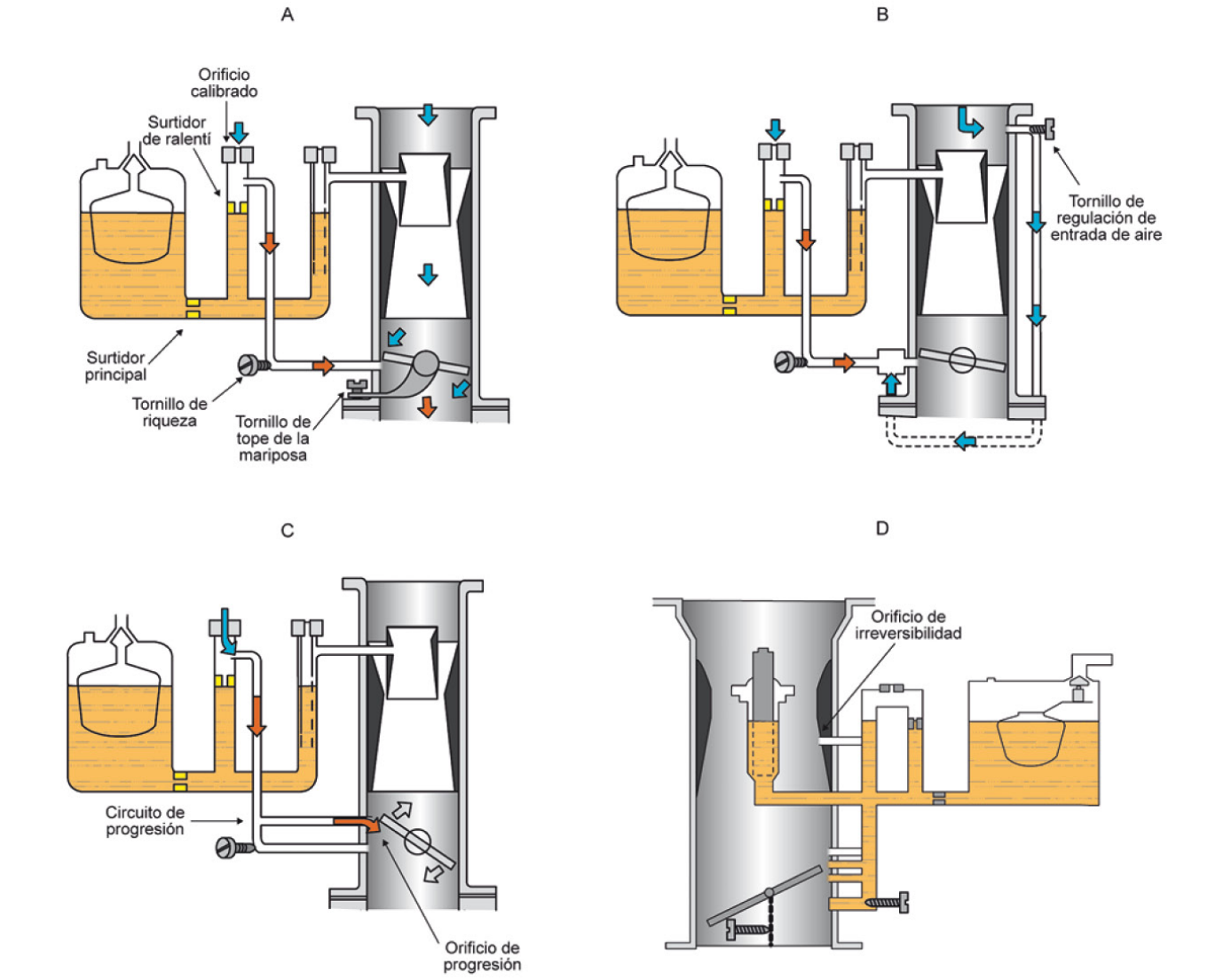


Figura 10.35. *Circuito de ralentí típico (A), circuito de ralentí con posición de mariposa prefijada (B) y circuito de progresión (C y D).*

– **Sistema de arranque en frío:** cuando se pretende arrancar el motor, la velocidad con la que el motor térmico es arrastrado por el motor de arranque es insuficiente para provocar la aspiración de combustible. Por otro lado, cuando el motor está frío, se produce la condensación de gran parte del combustible en el colector de admisión, por lo que el combustible neto que llega al cilindro es escaso. Por estos motivos es necesario un sistema de enriquecimiento adicional para facilitar el arranque en frío. Hay dos formas de provocar el enriquecimiento de la mezcla: aumentar la cantidad de combustible o disminuir la cantidad de aire. La primera de ellas requiere la aportación del combustible adicional a través de un circuito de gasolina independiente. La segunda solución es la más empleada y consiste en restringir el paso de aire con una válvula de mariposa llamada estrangulador o estárter. La Figura 10.36.A muestra el funcionamiento de un estárter manual. Cuando se acciona el mando del estárter en el tablero de instrumentos, se tira del cable o varilla (1) que mueve el mecanismo. Por un lado se cierra la mariposa estranguladora (2), que restringe el paso de aire. Por otro lado, se abre un poco la mariposa de gases (3) con el fin de obtener un ralentí acelerado y permitir el paso de gasolina. Normalmente la mariposa estranguladora tiene su eje descentrado para que se abra al acelerar el motor, venciendo la fuerza de un pequeño muelle, al aumentar la succión, ya que de otra forma el motor se ahogaría. Para permitir la entrada de una cierta cantidad de aire una vez se ha conseguido arrancar el motor, se instala una cápsula de vacío (4), denominándose a

© Ediciones Paraninfo

este sistema estárter semiautomático. Esta cápsula de vacío es accionada por la depresión reinante bajo la mariposa de gases, estando el motor en marcha. Por medio de una varilla (5) a la que se une la membrana de la cápsula, se abre ligeramente la membrana estranguladora, estando su apertura controlada por el tornillo de regulación (6). Por tanto, la apertura del estrangulador es mecánica a altos regímenes de giro, por la elevada aspiración, y neumática a régimen de ralentí, por la cápsula de vacío.

La Figura 10.36.B describe una evolución de este sistema, que es el estárter automático. Una cámara por la que circula líquido refrigerante transmite la temperatura de este al resorte bimetálico, que a su vez está unido al estrangulador. Cuando el motor está frío, el resorte bimetálico mantiene el estrangulador cerrado. Una resistencia calefactora, gobernada por un interruptor térmico que se activa por la temperatura del refrigerante en la culata, calienta el bimetal a medida que el motor aumenta su temperatura durante la fase de calentamiento, provocando la apertura progresiva del estrangulador. Cuando la temperatura del refrigerante alcanza unos 65-70 °C, el interruptor térmico deja de alimentar a la resistencia calefactora, pero el bimetal sigue recibiendo calor por el líquido refrigerante que pasa por la cámara del estárter, hasta que, al alcanzar la temperatura de régimen, el estrangulador está totalmente abierto. Para a su vez controlar la apertura progresiva de la mariposa de gases, se dispone de un disco escalonado, como puede verse en la Figura 10.36.C. De esta forma, la mariposa de gases va abriéndose progresivamente en función de la posición del estrangulador. El resorte bimetálico arrastra a su vez un disco escalonado sobre el que se apoya el tornillo de reglaje de ralentí en frío. A medida que se calienta el bimetal, va abriendo el estrangulador y, al mismo tiempo, disminuye la apertura de la mariposa de gases, al no necesitarse un ralentí acelerado. El disco escalonado parte en frío de su posición más alta, para llegar a su escalón más bajo cuando el motor ha alcanzado la temperatura de régimen.

En el caso de sistemas de arranque en frío que en lugar de limitar el paso de aire, aumentan la cantidad de combustible, enriqueciendo la mezcla, también hay sistemas automáticos basados en resortes bimetálicos que actúan de forma similar a los explicados anteriormente.

Sabías que...

En muchas aplicaciones, durante la fase de calentamiento se activan unas resistencias calefactoras instaladas en el colector de admisión, por debajo del carburador, con el fin de calentar la mezcla y evitar la condensación de la gasolina en las paredes del colector.

– **Sistema amortiguador del cierre de la mariposa:** cuando se cierra bruscamente la mariposa de gases, se interrumpe rápidamente la entrada de aire, mientras que sigue habiendo gasolina en el colector y pipas de admisión. Esto produce un enriquecimiento excesivo de la mezcla que provoca un aumento de la tasa de hidrocarburos (HC) sin quemar, constituyendo una emisión contaminante de los gases de escape. Para evitar esto, muchos carburadores incorporan un amortiguador de cierre de

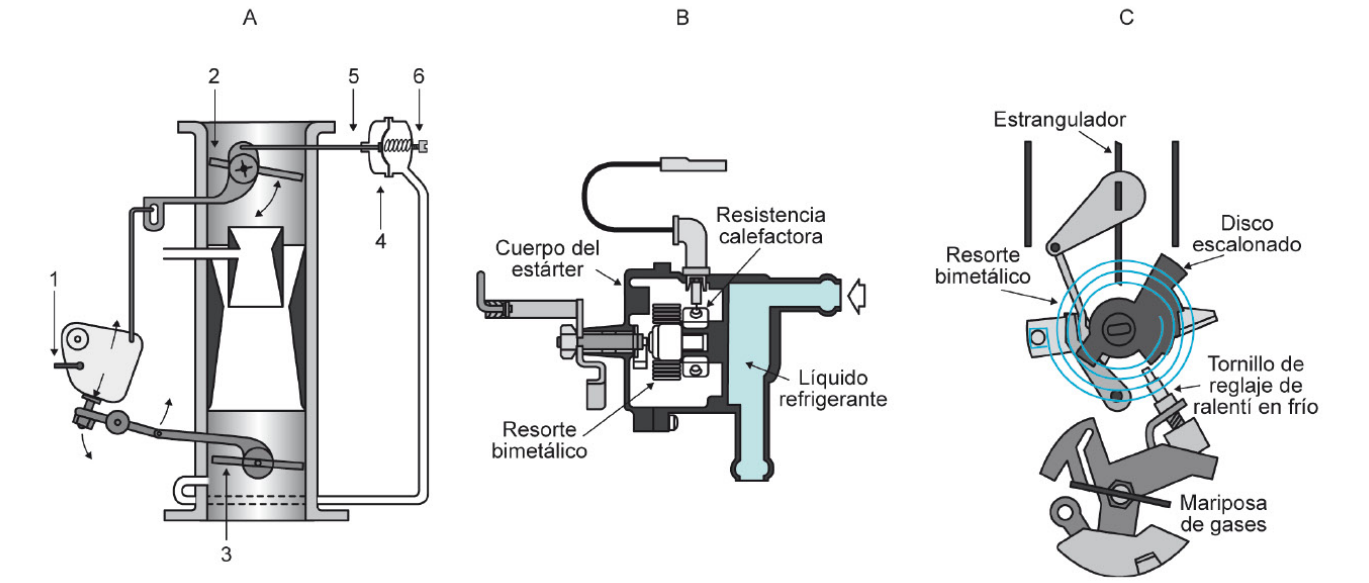


Figura 10.36. *Sistema de arranque en frío. Con estárter manual o semiautomático (A) y con estárter automático (B y C).*

© Ediciones Paraninfo

la mariposa, como el indicado en la Figura 10.37, que hace volver a la mariposa a su posición de ralentí de forma progresiva, permitiendo el barrido de gasolina en todos los conductos de admisión.

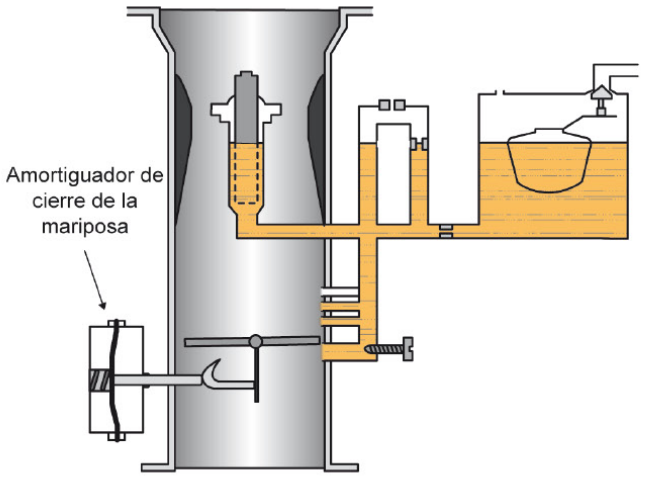
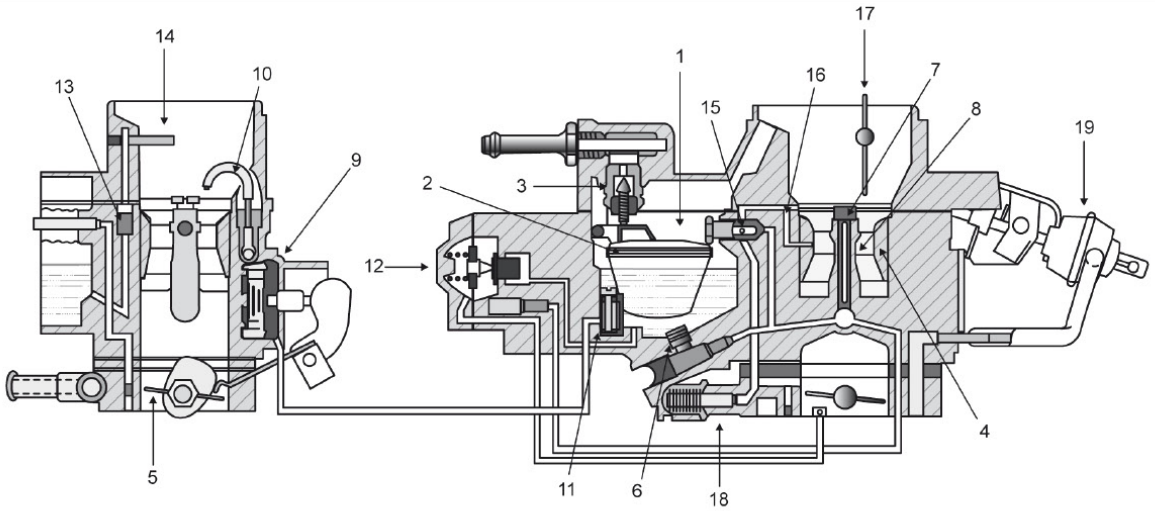


Figura 10.37. *Sistema amortiguador del cierre de la mariposa.*

Además de estos sistemas, se pueden tener otros auxiliares, como por ejemplo una electroválvula que abre ligeramente la mariposa de gases cuando se conecta el compresor, si el vehículo va equipado con aire acondicionado, para evitar la caía del régimen de ralentí al añadir esa carga al motor. También se puede disponer de otra electroválvula que corta el suministro de combustible al circuito de ralentí cuando se para el motor, para evitar que una vez cortado el encendido, no se aspire combustible durante los instantes que tarda en pararse el motor, con el fin de no introducir gasolina que no se va a quemar, evitando su descenso al cárter y posterior dilución del aceite. Los vehículos sobrealimentados llevan un enriquecedor adicional dependiente del grado de sobrealimentación.

A continuación, la Figura 10.38 muestra un ejemplo de un carburador monocuerpo, que integra gran parte de los sistemas estudiados, sirviendo de ejemplo de aplicación real. La sección que aparece es una representación simbólica del carburador e indica los elementos más importantes. En las fotografías pueden observarse los componentes y su ubicación real.



NÚMERO	ELEMENTO	NÚMERO	ELEMENTO
1	Cuba	11	Válvula antirretorno de la bomba de aceleración
2	Flotador	12	Enriquecedor de plena carga
3	Válvula del flotador	13	Enriquecedor de plena potencia
4	Difusor	14	Conducto del enriquecedor de plena potencia
5	Mariposa de gases	15	Surtidor de ralentí
6	Surtidor principal	16	Orificio calibrado de aire de ralentí
7	Orificio calibrado o automaticidad	17	Estrangulador
8	Tubo emulsor	18	Tornillo de riqueza
9	Bomba de aceleración	19	Cápsula de vacío del sistema de arranque en frío (sistema Pull - Down)
10	Inyector de la bomba de aceleración		

Figura 10.38. *Ejemplo de carburador monocuerpo.*

© Ediciones Paraninfo

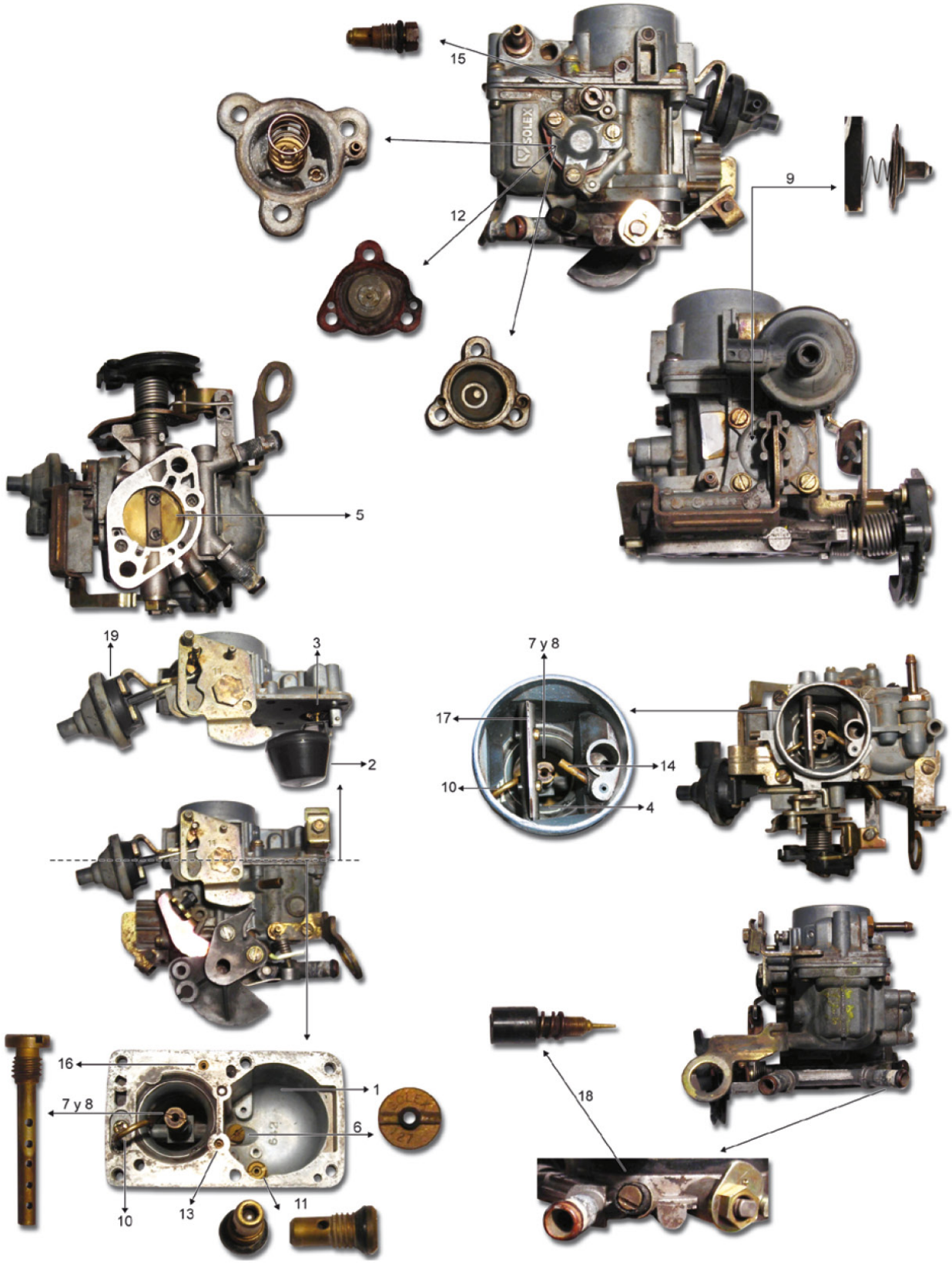


Figura 10.38. *(Continuación)*

© Ediciones Paraninfo

En los carburadores pueden darse dos fenómenos bastante habituales: la congelación y la percolación.

La congelación tiene lugar bajo ciertas condiciones ambientales de presión, temperatura y humedad relativa. Cuando se dan las condiciones propicias, se produce la congelación de las partículas de agua contenidas en el aire de entrada, que se depositan en el conducto de aire principal, a la altura de la mariposa. Este fenómeno se va realimentando, disminuyendo la sección de paso del aire, reduciendo las prestaciones del motor, por un enriquecimiento excesivo de la mezcla, a causa de un defecto de aire. Como además se pueden obstruir conductos, como los orificios de progresión, es posible ocasionar el calado del motor. Para evitar esto, se suelen adoptar diferentes estrategias, siendo la más habitual el disponer de una canalización por la que pase líquido refrigerante, próxima al conducto de aire, a la altura de la mariposa. De esta forma, al calentarse esta zona por el paso del refrigerante caliente, se evita la formación de escarcha. La Figura 10.39 muestra esta solución.

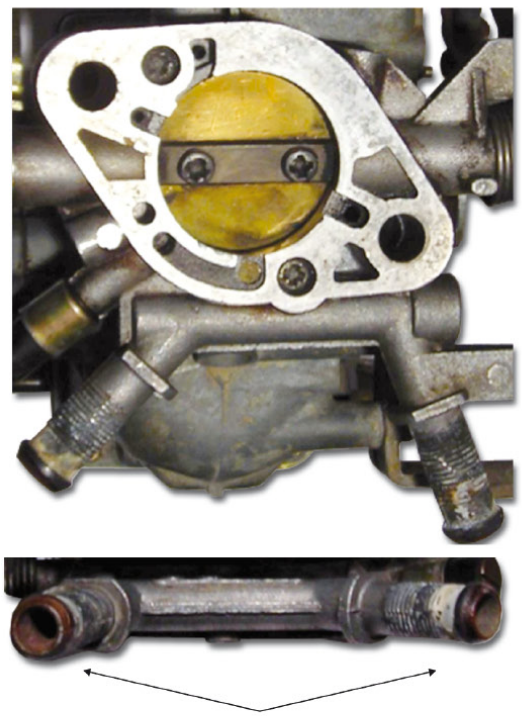


Figura 10.39. *Conductos de entrada y salida del refrigerante para evitar la formación de escarcha a la altura de la mariposa de gases.*

Sabías que...

Para evitar la formación de hielo, en algunos motores se sitúa el colector de admisión justo encima del colector de escape, de manera que la base del carburador recibe el calor de este.

La percolación consiste en la formación de vapores de gasolina por las altas temperaturas alcanzadas en el carburador. Este fenómeno se agudiza especialmente tras la parada del motor, cuando no actúan los sistemas de refrigeración forzada del motor y la gasolina sobrante no se enfría en su retorno al depósito. Esto conlleva a dificultar el arranque posterior, mientras el motor y el carburador aún están calientes. La dificultad de la nueva puesta en marcha y la posible irregularidad de funcionamiento al ralentí, es debida a que los vapores de gasolina aspirados no ofrecen una proporción de mezcla adecuada. Para paliar este fenómeno, se suele aislar el cuerpo de la mariposa de la parte del carburador que contiene la cuba, interponiendo una junta de material aislante, como muestra la Figura 10.40.A. Otra solución es favorecer la ventilación de la cuba, pudiendo encontrarse sistemas, como el de la Figura 10.40.B. Esta figura representa un sistema que corresponde a un vehículo sobrealimentado que, por las mayores temperaturas alcanzadas, necesita un ventilador antipercolación para refrigerar la cuba y el conducto de combustible procedente del regulador de presión de gasolina. El ventilador se activa a través de un termocontacto dispuesto en el colector de admisión, próximo a la base del carburador.

10.2.2. Evoluciones y otros sistemas

En motores de altas prestaciones y a partir de cilindradas superiores a 1300-1400 cm^3 es necesario instalar carburadores de doble cuerpo o dobles. La diferencia fundamental entre ambos es la forma de apertura de las mariposas, llamándose normalmente carburadores de doble cuerpo cuando se abren de manera secuencial y dobles cuando lo hacen simultáneamente. La Figura 10.41.A muestra una representación simplificada de un carburador de doble cuerpo. Cuando el motor funciona a bajos regímenes y con poca demanda de carga, el carburador se comporta como si fuese un monocuerpo normal, teniendo un funcionamiento progresivo y reduciendo el consumo. A partir de cierta posición del acelerador, la palanca o sector dentado empieza a abrir la mariposa del segundo cuerpo, obteniéndose mayores prestaciones. El esquema de un carburador doble puede observarse en la Figura 10.41.B. En este tipo de carburador, cada cuerpo alimenta a un grupo de cilindros, de forma independiente. Las mariposas de gases han de abrir de forma simultánea y deben tener un reglaje preciso para que cada cuerpo suministre la misma cantidad de mezcla a cada cilindro o grupo de cilindros. Los carburadores de doble cuerpo y los carburadores dobles tienen los mismos sistemas que los carburadores monocuerpo, explicados con anterioridad. El número, tipo y disposición de dichos sistemas depende de cada carburador y de su aplicación final.

© Ediciones Paraninfo

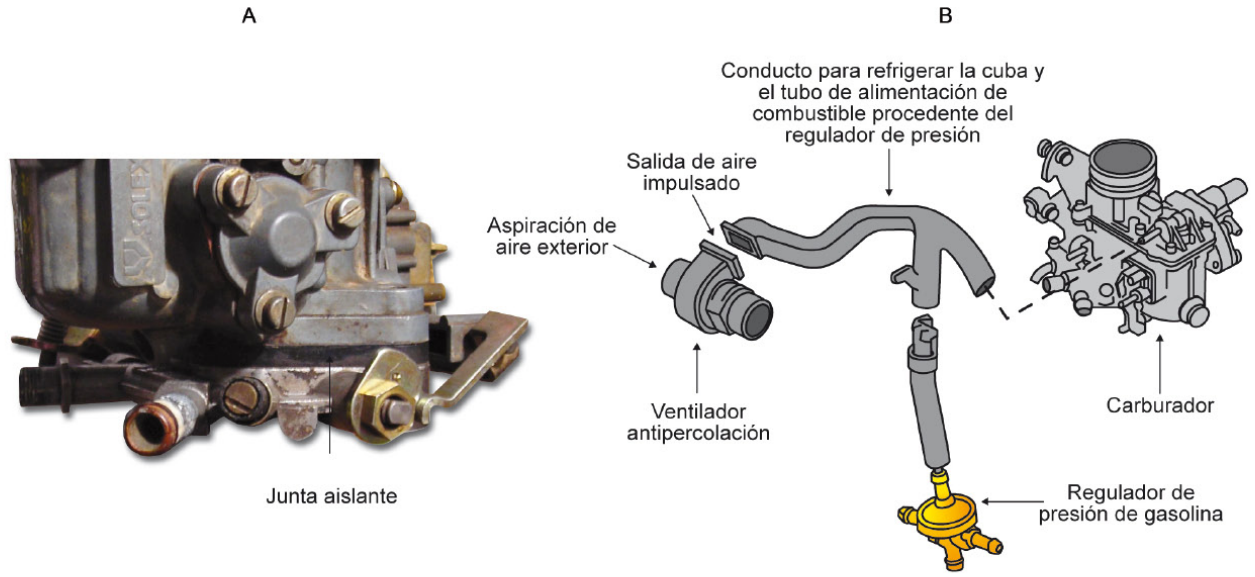


Figura 10.40. *Junta aislante entre el cuerpo de la mariposa y el resto del carburador (A). Dispositivo antipercolación de un vehículo con carburador sobrealimentado (B).*

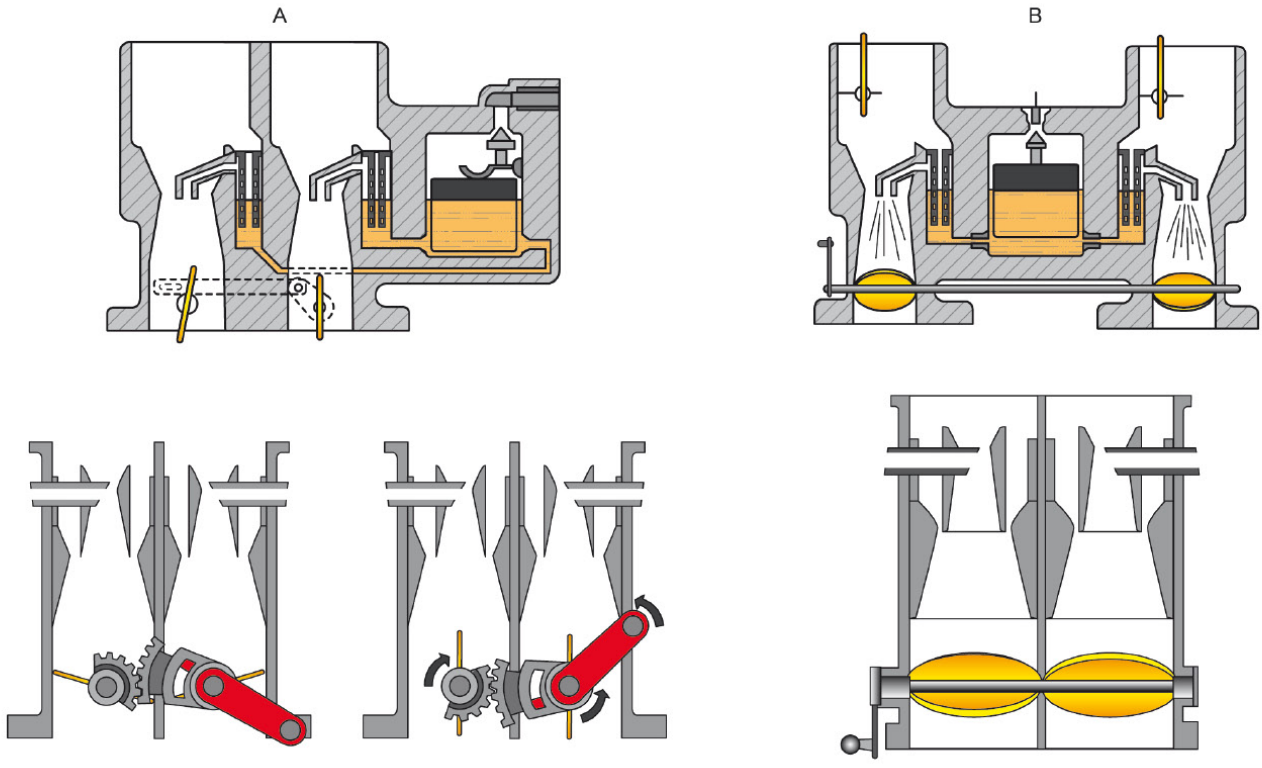
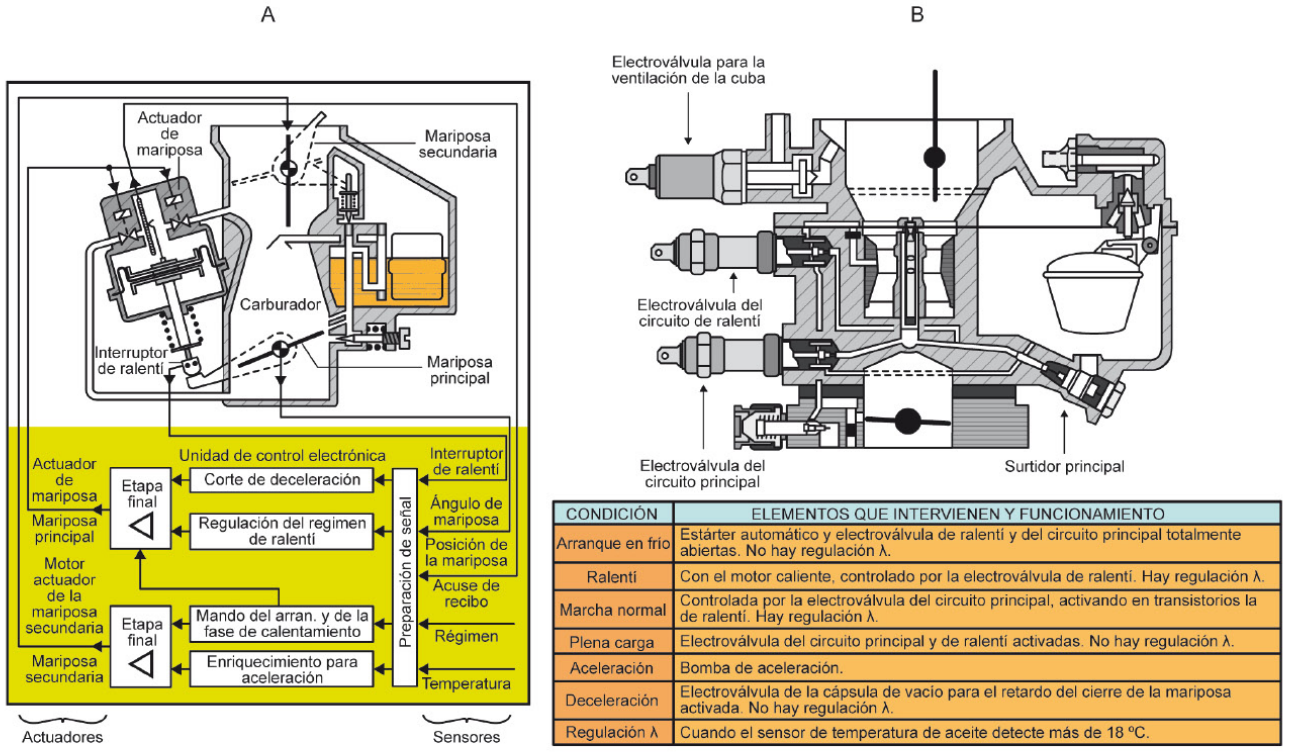


Figura 10.41. *Representación esquemática de un carburador de doble cuerpo (A) y doble (B).*

La demanda de motores más potentes, la evolución de las normativas anticontaminantes y la necesidad de perfeccionar las fases de arranque en frío y de calentamiento, provocó la aparición de carburadores con gestión electrónica. La Figura 10.42.A muestra el esquema de funcionamiento de un carburador con gestión electrónica llamado Ecotronic, de la marca Bosch. Este sistema incorpora una unidad electrónica de control que, en función de los parámetros

© Ediciones Paraninfo



CONDICIÓN	ELEMENTOS QUE INTERVIENEN Y FUNCIONAMIENTO
Arranque en frío	Estárter automático y electroválvula de ralentí y del circuito principal totalmente abiertas. No hay regulación λ.
Ralentí	Con el motor caliente, controlado por la electroválvula de ralentí. Hay regulación λ.
Marcha normal	Controlada por la electroválvula del circuito principal, activando en transistorios la de ralentí. Hay regulación λ.
Plena carga	Electroválvula del circuito principal y de ralentí activadas. No hay regulación λ.
Aceleración	Bomba de aceleración.
Deceleración	Electroválvula de la cápsula de vacío para el retardo del cierre de la mariposa activada. No hay regulación λ.
Regulación λ	Cuando el sensor de temperatura de aceite detecte más de 18 ºC.

Figura 10.42. *Carburadores con gestión electrónica: Ecotronic de Bosch (A) y carburador con mando electrónico del grupo PSA (B).*

de funcionamiento del motor detectados por los diversos sensores, envía señales a los actuadores, operando estos sobre ciertos elementos del carburador, adaptando su funcionamiento a cualquier condición. Existen dos actuadores principales, uno que se aplica sobre la mariposa de gases y otro que lo hace sobre el estrangulador. La unidad de control tiene tres funciones principales: control del enriquecimiento de la mezcla en las fases de arranque, calentamiento y aceleración, ajuste del régimen de ralentí y corte en deceleración (para ahorrar combustible cuando el motor es arrastrado por la marcha del vehículo). Con este sistema se consigue disminuir el consumo y perfeccionar el funcionamiento del carburador.

Otro tipo de carburador electrónico, del grupo PSA, es el que puede verse en la Figura 10.42.B. Este carburador puede instalarse en motores que incorporan catalizador de tres vías, realizando la regulación lambda. Para poder hacer el ajuste de la mezcla, la unidad de control recibe señales de la sonda lambda, temperatura del refrigerante, temperatura del aceite, posición de la mariposa de gases y régimen de giro. Posteriormente, esta información es tratada, enviándose señales de mando a los actuadores, siendo los más importantes dos electroválvulas: una situada en el circuito de ralentí, que sustituye al surtidor de ralentí, y otra en el circuito principal, en paralelo al surtidor principal. Existen otras electroválvulas, como la encargada de la ventilación de la cuba, para enviar los vapores de gasolina al filtro de carbón activo. Este sistema controla también el retardo en el cierre de la mariposa, la fase de arranque en frío, la estabilización del ralentí, …

Sabías que...

La gestión de los carburadores electrónicos suele incluir modos de funcionamiento de emergencia para que el motor siga en funcionamiento, aunque de forma degradada, en caso de avería del sistema.

Otro tipo de carburadores diferentes a los estudiados hasta ahora son los llamados de difusor variable. Se denominan así porque la geometría del difusor varía en función de la demanda de potencia del motor. En la Figura 10.43.A puede verse un tipo de carburador con estas características. Está formado por una cuba de nivel constante (1) que alimenta al circuito principal (2), desembocando este en el conducto de entrada de aire. El caudal de salida de gasolina a través de dicho conducto es controlado por la válvula de aire (3), que modifica la sección de paso de aire (4) y, a la vez, desliza en el interior del circuito principal una válvula de aguja (5) que

© Ediciones Paraninfo

regula el paso de gasolina. De esta forma se ajusta la cantidad de mezcla. La demanda de potencia del motor es regulada a través de la mariposa de gases (6). Al pisar el acelerador, aumenta la apertura de la mariposa, incrementándose la succión, provocando que la válvula de aire deje mayor sección de paso. Consecuentemente, la válvula de aguja permite un mayor caudal de gasolina. La cantidad de gasolina vertida al conducto principal depende de la posición de la válvula de aguja en relación a los pasos calibrados (7). El movimiento de la válvula de aire es controlado por una cápsula de vacío, no representada en la figura, que tiene una membrana a la que se une dicha válvula, desplazándose en función de la depresión en el colector de admisión. Estos carburadores suelen disponer de circuitos y sistemas auxiliares de ralentí, bomba de aceleración, arranque en frío…

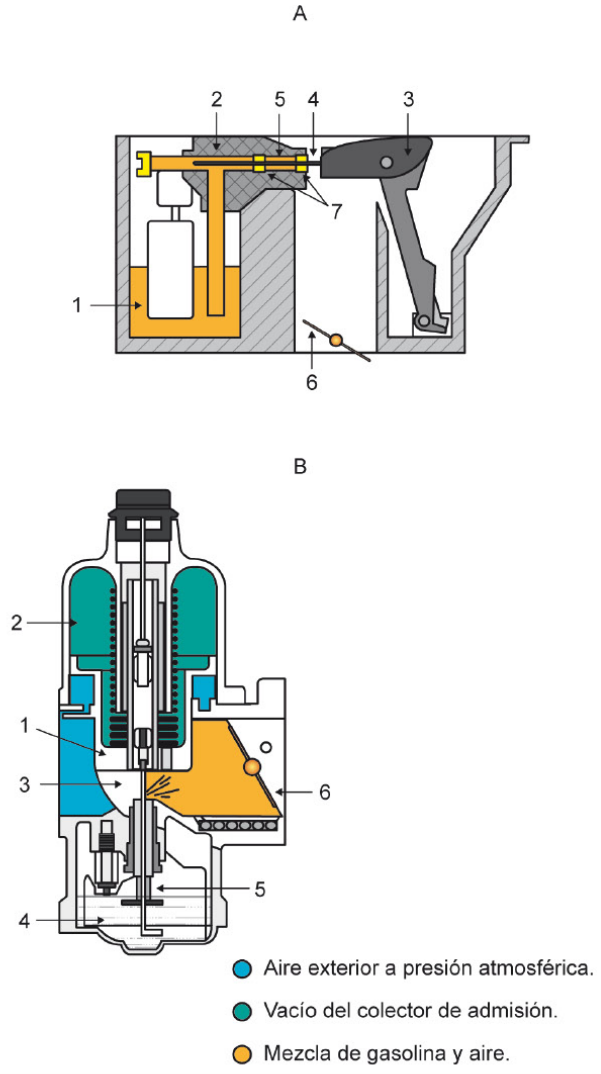


Figura 10.43. *Carburadores de difusor variable: de válvula de aire (A) y de campana (B).*

Otro tipo de carburador de difusor variable es el que puede observarse en la Figura 10.43.B. En este caso, la geometría del difusor es controlada por la posición de un émbolo (1), que obtura más o menos el conducto principal de aire, desplazándose en el interior de una campana (2). Una aguja cónica (3) está unida al émbolo y, en su movimiento ascendente o descendente, modificará la sección de paso de gasolina. La gasolina es aspirada de la cuba (4) por el circuito principal (5), siendo su caudal regulado por la aguja. Cuando la mariposa de gases (6) se encuentra en posiciones de carga parcial, se transmite la depresión del colector de admisión a la parte superior del émbolo, dentro de la campana, haciéndole ascender hasta lograr una posición de equilibrio acorde con la condición de funcionamiento del motor, en lo que respecta a la sección de paso de aire y caudal de gasolina suministrado. Este tipo de carburador tiene circuitos y sistemas auxiliares que le permiten abarcar todas las condiciones operativas del motor. Cabe destacar que en las aceleraciones bruscas, la función equivalente a la bomba de aceleración, la hace un sistema de retardo que incorpora el émbolo, de forma que al pisar el acelerador bruscamente, la sección de paso de aire aumente progresivamente, consiguiéndose un enriquecimiento transitorio de la mezcla.

10.2.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones

El mantenimiento del carburador incluye también el de otros elementos del sistema de alimentación, como la sustitución periódica del filtro del aire o del filtro de gasolina por otros, de las características indicadas por el fabricante.

El carburador debe ser limpiado periódicamente, ya que los conductos y surtidores suelen acumular partículas que pueden provocar disfunciones y un aumento del consumo de combustible. Como norma general, se empezará con la limpieza exterior, pasando después a su desmontaje y limpieza interior. Deben emplearse productos de limpieza adecuados y utilizar aire comprimido para los conductos, ya que si se emplean elementos abrasivos o se introducen punzones o elementos similares, pueden dañarse gravemente los pasos calibrados, dada su gran precisión.

Recuerda que...

El carburador es un sistema de gran precisión y hay que manipular sus piezas con cuidado, sin forzar los mecanismos y sin emplear elementos abrasivos en su limpieza.

© Ediciones Paraninfo

Durante la fase de desmontaje hay que seguir las indicaciones del fabricante. En cualquier caso, como norma general deberán realizarse las siguientes operaciones:

- Comprobar el recorrido de apertura de la mariposa de gases, verificando el estado de su eje y ajustando su posición de ralentí.
- Observar el estado de la aguja del tornillo de riqueza de mezcla al ralentí.
- Verificar el estado del difusor.
- Ver el estado y comprobar el calibre del surtidor principal, procediendo a su limpieza si todo es correcto.
- Limpiar los conductos.
- Comprobar el estado del flotador de la cuba y su válvula.

En la fase de montaje del carburador hay que realizar una puesta a punto del mismo, que normalmente consiste en realizar los siguientes trabajos:

- Ajustar el nivel de la cuba.
- Efectuar el reglaje de la mariposa de gases.
- Verificar el funcionamiento del sistema de arranque en frío.
- Comprobar el funcionamiento de la bomba de aceleración.

Recuerda que...

Tras el desmontaje del carburador es recomendable, y en algunos casos obligatorio, sustituir todas las juntas y membranas. Muchas veces, el fabricante suministra kits de reparación que incluyen membranas, juntas y otros elementos susceptibles de degradación y desgaste.

Tras el montaje del carburador en el motor, hay que ajustar el régimen de ralentí y controlar la emisión de CO. Para ello se actúa, como indica la Figura 10.44, sobre el tope de la mariposa de gases y sobre el tornillo de riqueza. Hay que emplear un tacómetro y un analizador de gases de escape, siguiendo esta secuencia:

- Poner el motor en marcha y dejar que alcance su temperatura de régimen. Una vez conseguido, dejar el motor al ralentí.
- Actuar sobre el tornillo de tope de la mariposa hasta que alcance el régimen de ralentí establecido por el fabricante, observando el tacómetro.
- Abrir el tornillo de riqueza de la mezcla, desde su posición cercana al cierre, observando un incremento progresivo del régimen de giro. Cuando este deje de aumentar, volverlo a cerrar hasta que decaiga un poco, controlando que el nivel de CO está dentro de los límites establecidos.
- Volver a actuar sobre el tornillo de tope de la mariposa para reestablecer el régimen de giro de ralentí prescrito por el fabricante.
- Controlar de nuevo el nivel de CO. Si no es correcto, volver a ajustar.

Figura 10.44. *Ajuste del régimen de ralentí y nivel de CO.*

Recuerda que...

Las operaciones sobre el carburador dependerán de cada fabricante y del tipo de carburador, pudiendo ser necesario recurrir a la documentación técnica.

Sabías que...

Existe utillaje específico para la comprobación y reparación de carburadores. Algunas marcas tienen llaves especiales y galgas para comprobar apertura de mariposas, diámetro de surtidores...

© Ediciones Paraninfo

En otros carburadores pueden ser necesarios otros reglajes o comprobaciones. Por ejemplo, en los carburadores dobles hay que sincronizar el funcionamiento de cada cuerpo, utilizando vacuómetros. En los carburadores electrónicos puede comprobarse la resistencia interna de las electroválvulas y el potenciómetro de la mariposa de gases.

Las averías y causas posibles de los carburadores son muy variadas. La Tabla 10.1 recoge las más habituales, constituyendo una guía orientativa.

TABLA 10.1

Averías	Posibles causas
Dificultad de arranque en frío	• Fallo del estrangulador o del estárter automático.
Dificultad de arranque en caliente	• Percolación en la cuba. • Formación de vapor en la bomba de gasolina.
Inestabilidad al ralentí	• Posición de la mariposa. • Riqueza incorrecta. • Toma de aire.
Fallo en aceleraciones	• Bomba de aceleración. • Circuito de progresión. • Cable del acelerador.
Pocas prestaciones	• La mariposa de gases no abre del todo. • Nivel de la cuba. • Pasos calibrados obstruidos. • Presión de la bomba de gasolina. • Fallo en los enriquecedores.
Elevado consumo	• Pasos calibrados obstruidos. • Nivel de la cuba. • Filtro del aire colmatado. • Sistema de arranque en frío.
Exceso de humo negro en el escape	• Mezcla muy rica. • Pasos calibrados obstruidos. • Bomba de aceleración. • Sistema de arranque en frío.

10.3. La inyección indirecta mecánica

10.3.1. Características, componentes y funcionamiento

La necesidad de reducir el consumo de combustible, aumentar la potencia específica y disminuir las emisiones contaminantes, hicieron que el carburador cayera en desuso. La inyección mecánica fue instalada por diversos fabricantes con diferentes configuraciones, pero los sistemas más importantes fueron implementados por Bosch. Uno de sus primeros diseños fue una aplicación de inyección directa mecánica, derivada de las bombas de inyección en línea de los motores diésel, empleado en el Mercedes Benz 300 SL, que aparece en la Figura 10.45.

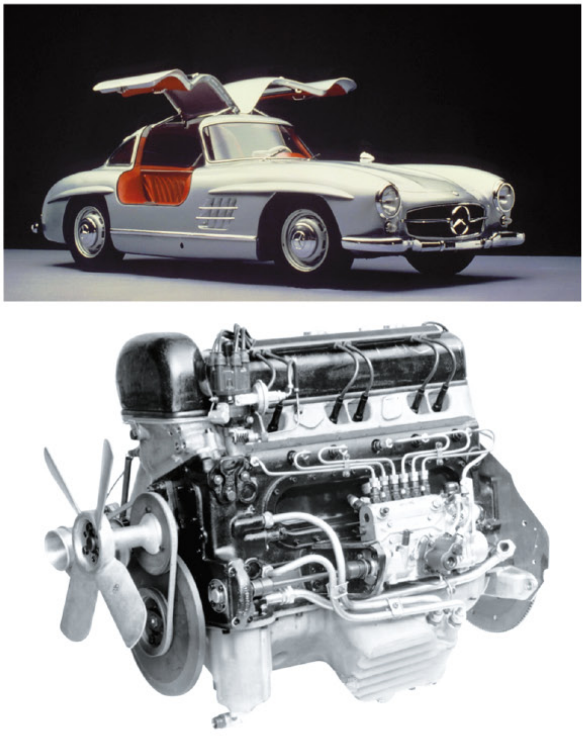


Figura 10.45. *Sistema de inyección directa mecánica diseñado por Bosch para el Mercedes 300 SL.*

El sistema de inyección indirecta mecánica más conocido es el K-Jetronic, también de Bosch. Dado el número de aplicaciones en las que se ha instalado este sistema de alimentación, se empleará como referencia a la hora de explicar la inyección mecánica de gasolina.

Sabías que...

La marca Bosch ha diseñado muchos sistemas auxiliares del motor y han sido utilizados en multitud de vehículos en todo el mundo. Por este motivo se suele emplear la nomenclatura de Bosch para referirse a los sistemas de alimentación, en este caso, la inyección mecánica de gasolina se denomina K-Jetronic.

© Ediciones Paraninfo

El sistema K-Jetronic es un sistema de inyección:

- **Mecánica:** porque los inyectores se abren de forma mecánica.
- **Multipunto:** al haber un inyector por cada cilindro.
- **Indirecta:** por inyectar el combustible antes de la válvula de admisión.
- **Continua:** porque los inyectores introducen el combustible constantemente.
- **Simultánea:** porque todos los inyectores introducen el combustible a la vez.

La Figura 10.46 muestra un mapa conceptual de los elementos que intervienen para introducir la mezcla en el cilindro.

En la Figura 10.47 se ha representado el sistema K-Jetronic más completo en cuanto a número de elementos, ya que dependiendo de la aplicación, puede que no se empleen algunos de ellos. Esta figura servirá de base para presentar los componentes del sistema, cuya explicación detallada se realizará a continuación. Es importante resaltar que el circuito de combustible se divide a su vez en cuatro: uno que está a la presión llamada del sistema, otro que proporciona la presión de mando, el que transmite la presión de inyección y el circuito de retorno al depósito.

Para explicar el funcionamiento del sistema resulta conveniente distinguir el circuito de aire, el circuito de combustible y los elementos que intervienen para formar la mezcla.

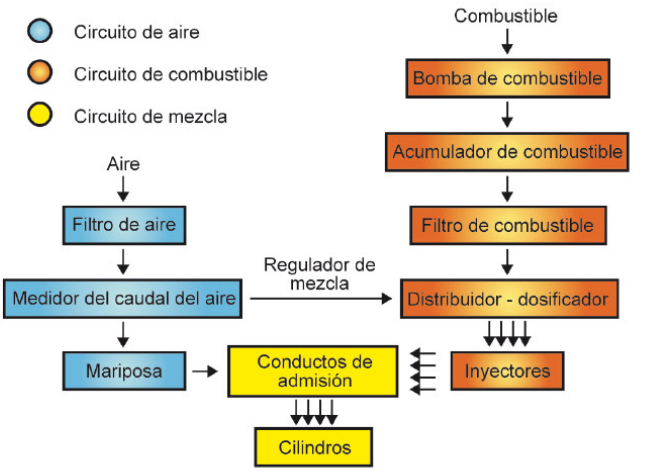


Figura 10.46. *Mapa conceptual del funcionamiento del sistema K-Jetronic.*

- **Circuito de aire:**

El aire atmosférico es aspirado desde el exterior, pasa por el filtro y de ahí al medidor del caudal de aire, que se explicará más adelante por ser un elemento fundamental

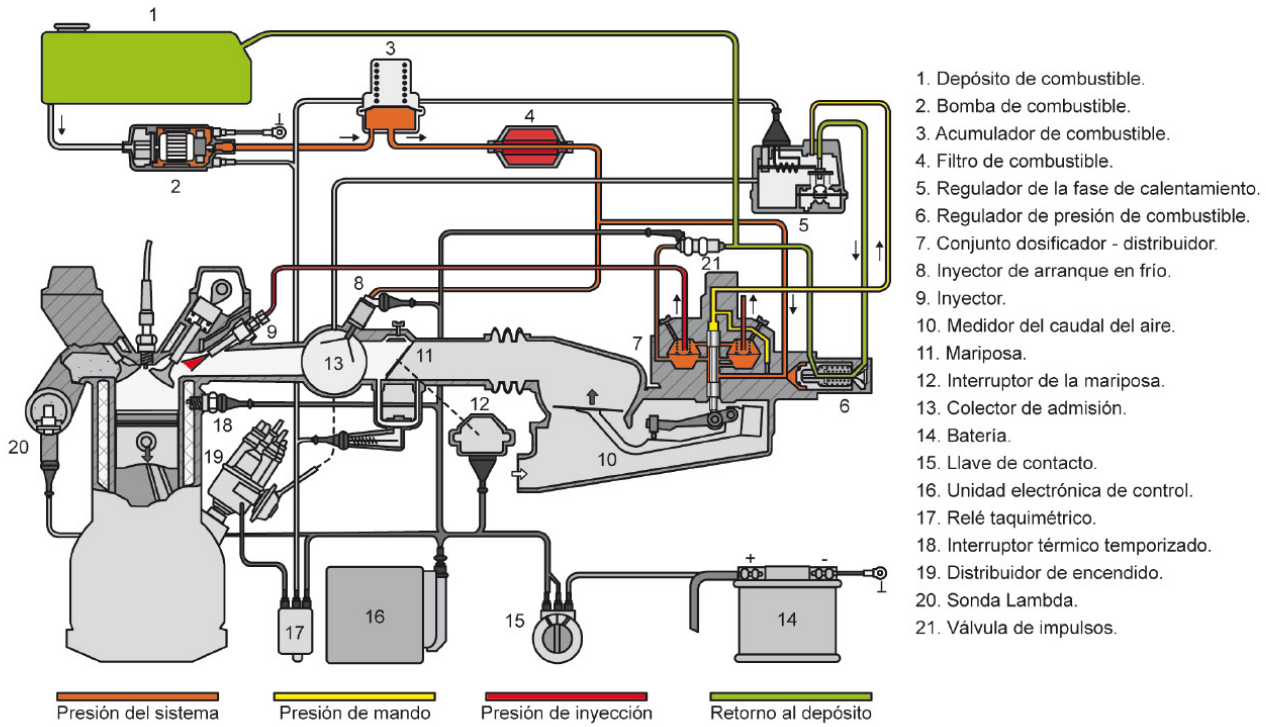


Figura 10.47. *Sistema K-Jetronic.*

© Ediciones Paraninfo

para formar la mezcla. Después, la mariposa de gases se encarga de regular la carga del motor.

- **Circuito de combustible:**

El combustible es aspirado del depósito por una bomba eléctrica de rodillos. En ocasiones se dispone de una bomba eléctrica previa instalada en el conjunto aforador del depósito, como muestra la Figura 10.48, que suministra el caudal necesario a la bomba principal.

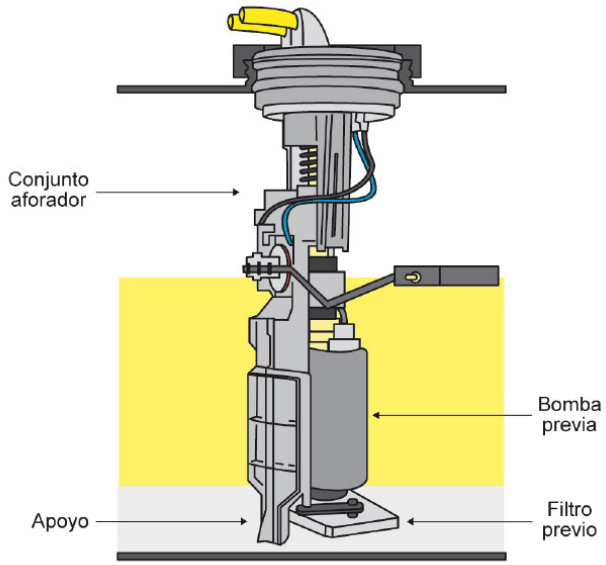


Figura 10.48. *Bomba previa de combustible.*

El combustible es enviado a la bomba principal, normalmente de rodillos, que puede ir instalada en un soporte metálico junto al acumulador de presión y el filtro de combustible, como puede verse en la Figura 10.49.

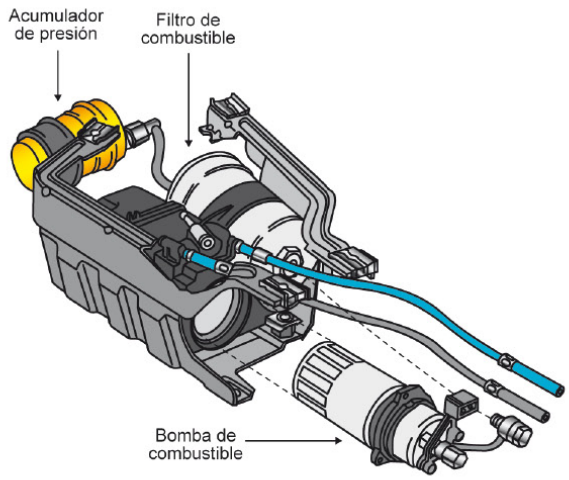


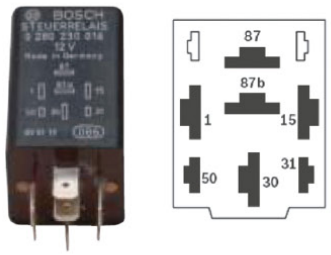
Figura 10.49. *Conjunto formado por la bomba de combustible, acumulador de presión y filtro de combustible.*

El funcionamiento de las bombas eléctricas de combustible es controlado mediante un relé taquimétrico. Este tipo de relés puede tener diversas funciones en la gestión del motor, pero generalmente su misión principal es alimentar determinados sistemas solo cuando se detecte señal de revoluciones del motor. La Figura 10.50 muestra un relé taquimétrico con los terminales normalizados. Normalmente, el relé taquimétrico tiene tres modos de funcionamiento:

– **Con el contacto puesto:** un temporizador incorporado hace que al activar el contacto se alimente a la bomba de combustible durante unos segundos para cebar el circuito. Tras ese tiempo, se interrumpe la alimentación por si se desea tener el contacto puesto sin arrancar el motor. En estas circunstancias, el relé toma la señal por el terminal 15.

– **Durante la fase de arranque:** cuando se pone la llave de contacto en la posición de arranque, el relé alimenta a la bomba, tomando la señal por el terminal 50.

– **Con el motor en marcha:** el relé alimenta a la bomba de combustible, recibiendo la señal de mando a través del borne 1, por donde detecta que el motor está girando.



SEÑALES DE ENTRADA:

15 Positivo de llave de encendido.
1 Señal de revoluciones del borne 1 de la bobina de encendido.
50 Positivo que acciona el motor de arranque.
31 Masa.
30 Positivo directo de batería.

SEÑALES DE SALIDA:

87b Positivo que alimenta la bomba auxiliar y la bomba principal.
87 Positivo que alimenta otros consumidores.

Figura 10.50. *Relé taquimétrico.*

La bomba de combustible principal envía la gasolina al circuito de alimentación, pasando previamente por el acumulador de presión.

El acumulador de presión, mostrado en la Figura 10.51, se encarga de mantener constante la presión del sistema durante un cierto tiempo tras parar el motor. Esta presión también es conocida como presión de retención, pudiéndose

© Ediciones Paraninfo

definir como la presión del sistema cuando el motor deja de estar en marcha. De esta forma, se facilita el arranque del motor cuando aún está caliente, evitando la percolación y la formación de burbujas en el circuito, que dificultarían la apertura de los inyectores. El combustible entra por el conducto (1), permitiéndole continuar el circuito a través de la salida (2). Durante su paso por el acumulador, gracias a la presión generada por la bomba, la gasolina empuja la membrana (3), venciendo la fuerza del muelle (4), que está ubicado dentro de una cámara (5) comunicada con la presión atmosférica. Consecuentemente, se genera un volumen de acumulación (6), cuando se establece el equilibrio entre la presión del sistema y la fuerza del muelle. Al parar el motor, la fuerza del muelle mantiene la presión del sistema durante un tiempo, ya que la gasolina no puede retroceder al depósito ni por la válvula antirretorno de la bomba ni por la válvula del regulador de presión de combustible. Como estos dos últimos elementos no son completamente estancos, la presión de retención irá disminuyendo poco a poco, del orden de horas, tiempo suficiente para que se enfríe el motor y ya no exista riesgo de formación de burbujas en el circuito. El acumulador tiene otra función adicional, que es la amortiguación de las variaciones de presión debidas al funcionamiento de la bomba, gracias al efecto del muelle, ayudando también a reducir el ruido provocado por el funcionamiento de la bomba.

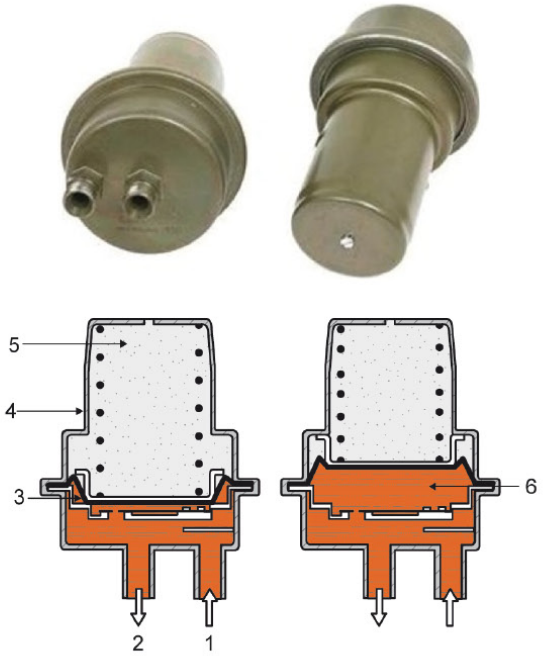


Figura 10.51. *Acumulador de presión de combustible.*

Tras el acumulador se instala el filtro de combustible, cuyo esquema puede verse en la Figura 10.52. Su estructura es similar a la de los filtros empleados en los sistemas con carburador, salvo que en la inyección mecánica son más grandes, debido a los mayores caudales de gasolina que tienen que filtrar.

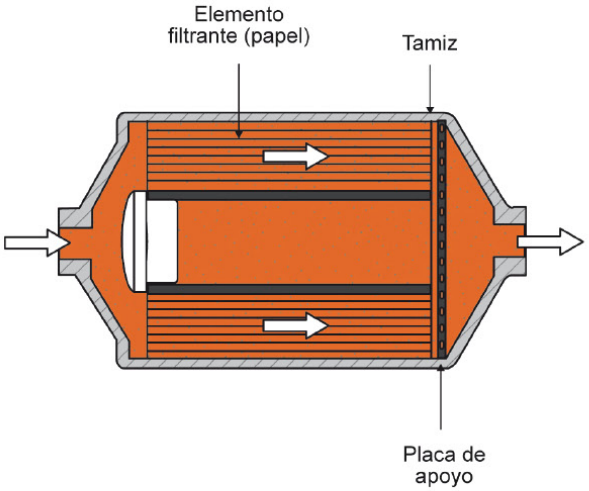


Figura 10.52. *Filtro de combustible.*

Cuando la gasolina ha pasado por el filtro llega al regulador de presión, representado en la Figura 10.53 que mantiene constante la presión del sistema, a unos 5 bar. La Figura 10.53.A muestra el funcionamiento del regulador cuando el motor está en marcha. La presión del sistema empuja el émbolo (1) comprimiendo el muelle (2), hasta que la fuerza de este se compense con la provocada por la presión. A la vez que ocurre esto, se abre la válvula de empuje (3), que permite el paso de combustible procedente del regulador de la fase de calentamiento hacia el retorno de combustible al depósito. En la Figura 10.53.B puede observarse la posición del regulador con el motor parado. La presión del sistema disminuye y el émbolo cierra contra su asiento interponiendo una junta tórica (4). También se cierra la válvula de empuje. De esta manera se mantiene la presión de retención del combustible almacenado en el acumulador. La presión del sistema puede ser ajustada con el tornillo y arandela de regulación (5). En la Figura 10.53.C puede verse la disposición y elementos reales que forman el regulador de presión, integrado en el dosificador-distribuidor.

Tras el regulador de presión, el combustible pasa por el conjunto dosificador-distribuidor, cuyo funcionamiento se explicará posteriormente, y de ahí a los inyectores. Los inyectores son válvulas que abren a una presión determinada, pulverizando el combustible en el colector de admisión por medio de la oscilación de la aguja. La Figura 10.54 muestra un inyector mecánico, su ubicación y sus componentes. El inyector está formado por un cuerpo (1), cuyo interior

© Ediciones Paraninfo

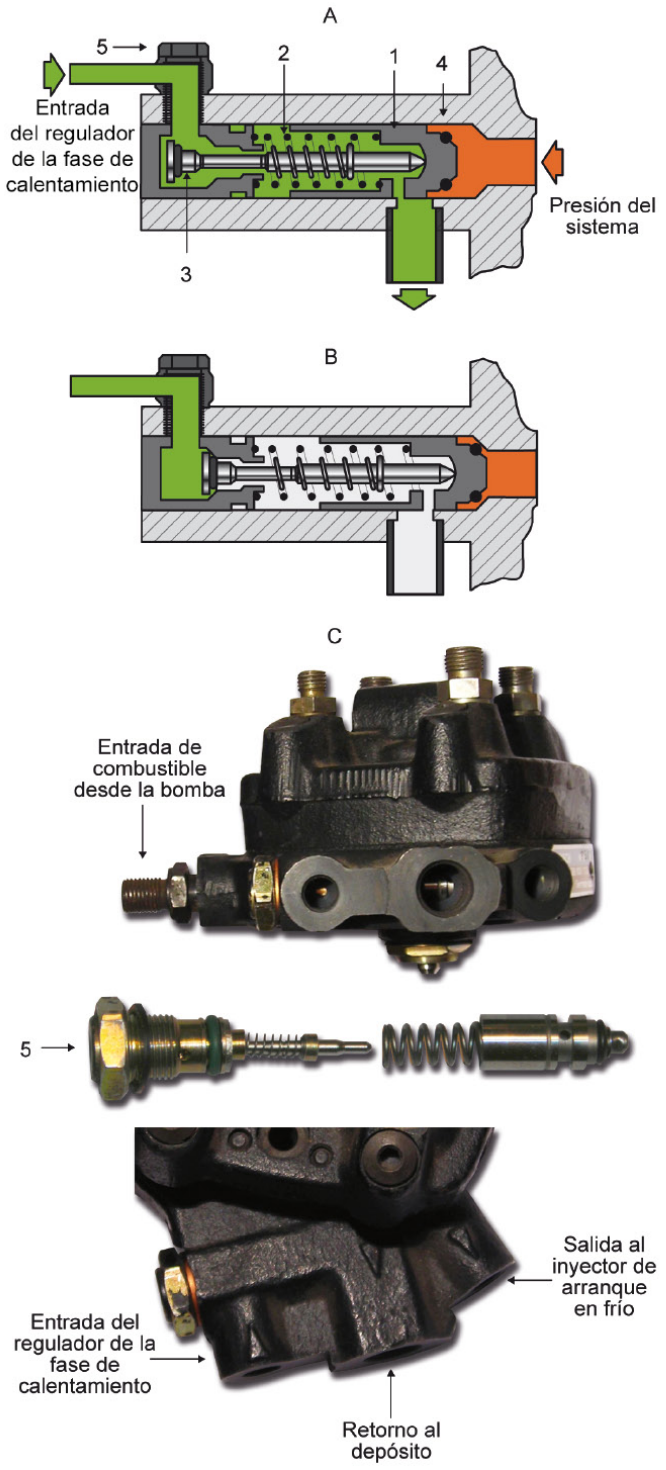


Figura 10.53. *Regulador de presión de gasolina.*

se encuentra a la presión de inyección. El combustible pasa por un filtro (2) para retener impurezas. Cuando la presión de inyección supera los 3,3 bar, el combustible, a través del plato (3), vence la fuerza del muelle (4) y abre la aguja de la válvula (5), separándose esta de su asiento (6). Los inyectores van insertados a presión en el colector de admisión en un soporte especial de plástico (7), interponiendo una junta tórica (8), con el fin de aislarlos térmicamente del motor para evitar la formación de burbujas en su interior.

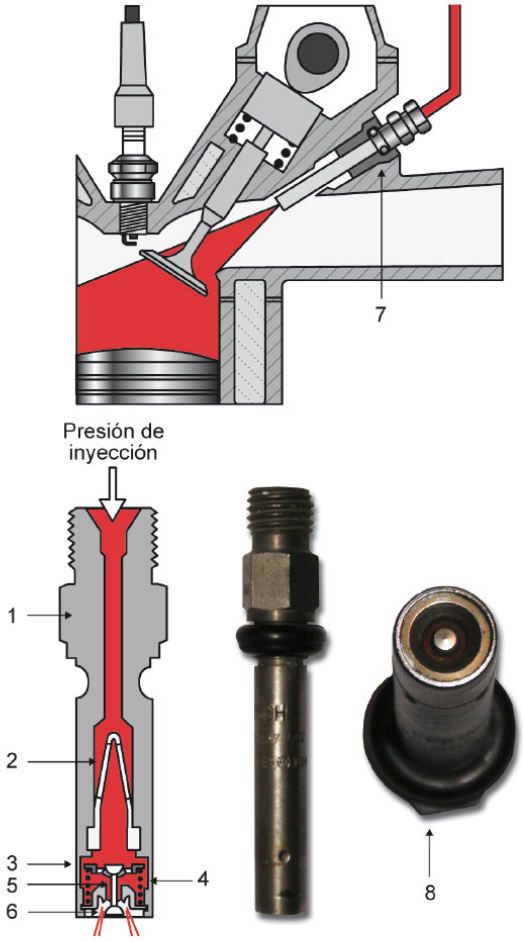


Figura 10.54. *Inyector mecánico.*

Recuerda que...

Los inyectores mecánicos no tienen función dosificadora, como ocurre con los inyectores electrónicos, simplemente abren a una determinada presión de combustible.

Sabías que...

Los inyectores suelen tener a su alrededor una cámara de aire para que, sumado al efecto de la junta tórica, no se formen gotas en el cono de junta y ayude a la homogeneización de la mezcla.

© Ediciones Paraninfo

- **Elementos que intervienen para formar la mezcla:**

Los elementos para formar la mezcla son el medidor del caudal de aire y el distribuidor-dosificador de combustible, estando montados formando un conjunto, como aparece en la Figura 10.55.

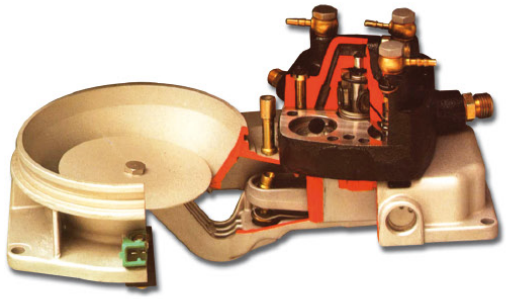


Figura 10.55. *Conjunto formado por el medidor del caudal de aire y el distribuidor-dosificador de combustible.*

El medidor del caudal de aire está situado antes de la mariposa de gases y es capaz de medir el caudal de aire total que el motor está aspirando en todo momento. La Figura 10.56 muestra las partes de las que está compuesto. En el cuerpo del medidor se encuentra el embudo (1), cuya geometría está calculada para permitir la circulación del aire alrededor del plato sonda (2), levantándose este en función de la cantidad aspirada del mismo. El plato sonda es un cuerpo flotante, formando un sistema de balancín, que gira alrededor del eje (3) y se mantiene estable gracias al contrapeso (4). El plato sonda y el contrapeso están unidos por medio de la palanca (5). La posición de reposo del plato se consigue cuando apoya sobre el resorte de lámina (6). Debido a disfunciones en el sistema de encendido, pueden generarse ondas de presión que hagan retroceder al plato sonda por debajo de su posición de reposo. Por este motivo, el sistema está diseñado para que el plato sonda pueda oscilar en sentido contrario, aliviando la presión a través de la sección de descarga (7). El movimiento del plato sonda mueve la válvula corredera de dosificación (8), que se encargará de dosificar el combustible adecuado conforme a la cantidad de aire aspirado. Esta válvula forma parte del distribuidor-dosificador, por lo que se explicará posteriormente. El tornillo de ajuste de riqueza (9) permite regular el nivel de CO al ralentí. La forma del embudo es importante. Si tuviese una conicidad constante, no variaría la proporción de mezcla en función de las condiciones operativas del motor, según se mueve el plato sonda. Por otro lado, en función del ángulo del embudo, se puede generar una mayor o menor variación de mezcla, según la altura alcanzada por el plato sonda. Normalmente, los embudos tienen tres ángulos o conicidades que delimitan tres regiones: de ralentí, de carga parcial y de plena carga. Con esto se consigue enriquecer la mezcla a ralentí y plena carga y empobrecerla a cargas parciales.

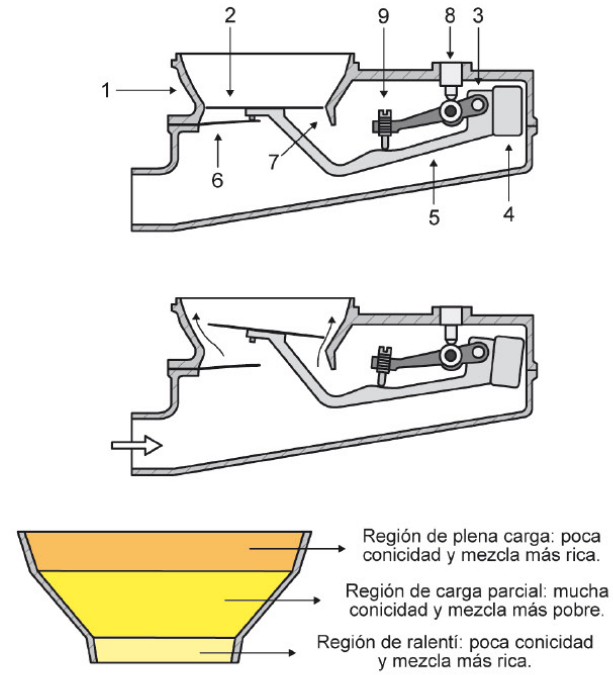


Figura 10.56. *Elementos del medidor del caudal de aire.*

El dosificador-distribuidor controla la cantidad de gasolina que llega a los inyectores en función de la posición del plato sonda. De esta forma se obtiene la dosificación correcta del combustible aportado en relación a la cantidad de aire aspirado. La Figura 10.57 muestra el esquema general de este dispositivo. El dosificador-distribuidor (1) se ubica sobre el cuerpo del medidor del caudal de aire (2). El aire aspirado (3) levanta el plato sonda (4) y a su vez, por medio del mecanismo de palanca, mueve la válvula corredera de dosificación (5), que comunica la entrada de combustible (6) procedente de la bomba, con la salida hacia las válvulas de presión diferencial (7). La facilidad de ascenso de la válvula de dosificación dependerá de la presión de combustible existente en la parte superior, denominada presión de mando (8).

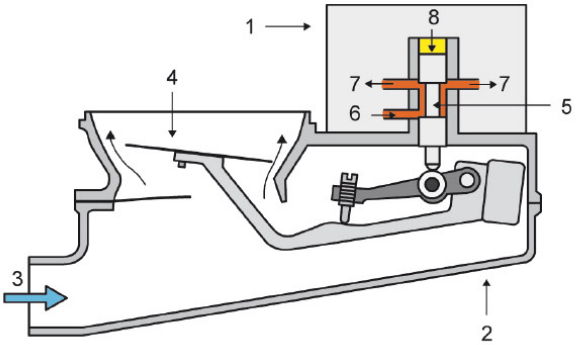


Figura 10.57. *Esquema general del dosificador-distribuidor.*

© Ediciones Paraninfo

Para poder variar la riqueza de la mezcla, se modifica la presión de mando. Cuando esta es baja, la válvula puede ascender con libertad al ser empujada por la palanca del plato sonda. En estas circunstancias, el caudal de gasolina suministrado a las válvulas de presión diferencial es elevado, consiguiéndose un enriquecimiento de la mezcla. Cuando la presión de mando es alta, la válvula tiene una mayor resistencia en su carrera ascendente, reduciendo la sección de paso a las válvulas de presión diferencial y, por tanto, el caudal. La posición de la corredera se basa en un equilibrio entre la fuerza ejercida por la palanca del plato sonda, al ser movido este por el aire aspirado, y la presión de mando. Gracias a la presión de mando se puede controlar la sección de las lumbreras que dan paso al combustible hacia las válvulas de presión diferencial, además de ayudar a que la válvula de dosificación realice su carrera descendente. En la Figura 10.58 se representa el funcionamiento de la válvula corredera de dosificación.

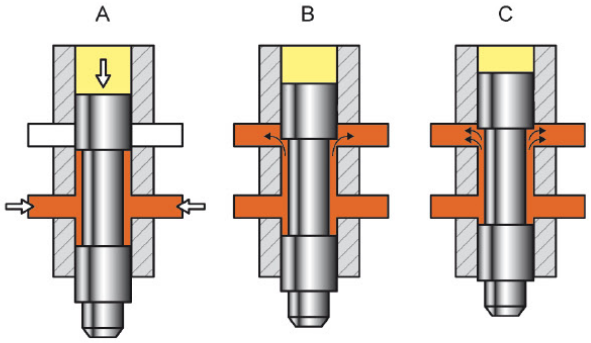


Figura 10.58. *Detalle del funcionamiento de la válvula corredera de dosificación: en reposo (A), en carga parcial (B) y a plena carga (C).*

La Figura 10.59.A muestra los elementos de las válvulas de presión diferencial. Para simplificar el esquema, aparece la sección transversal de dos válvulas, pero hay que tener en cuenta que existen tantas como cilindros tenga el motor. Durante el funcionamiento normal, al variar la cantidad de aire aspirado, el caudal de combustible aportado también ha de hacerlo para mantener la relación estequiométrica. La gasolina entra por el conducto (1), a la presión del sistema, inundando todas las cámaras inferiores (2) de las válvulas de presión diferencial, al estar comunicadas entre ellas. Las cámaras inferiores están separadas de las cámaras superiores (3) interponiendo una membrana flexible (4). El combustible pasa a las cámaras superiores a través del cuello de la válvula de dosificación (5) y de la lumbrera de dosificación (6). El muelle (7) mantiene una presión diferencial entre la cámara inferior y superior de 0,1 bar. Por último, el combustible sale hacia cada inyector por el conducto (8), a la presión de inyección. A través de la Figura 10.59.B puede describirse el funcionamiento con elevado caudal de inyección. El combustible entra a las cámaras inferiores, pasa por el cuello de la válvula de dosificación y esta deja una sección de paso grande hacia las cámaras superiores. En estas circunstancias, la membrana sufre una gran deformación que deja paso a un elevado caudal de gasolina. El muelle siempre mantendrá una diferencia de presiones entre ambas cámaras constante e igual a 0,1 bar. En la Figura 10.59.C el caudal de gasolina es reducido. El plato sonda detecta una menor aspiración de aire, por lo que la válvula de dosificación tiene una posición más baja. Debido a esto, la sección de paso de la lumbrera de dosificación también disminuye, reduciendo la presión en las cámaras superiores. Ahora, la membrana se deforma menos y disminuye la sección de paso hacia los inyectores, reduciendo el caudal inyectado. En estas condiciones, el muelle vuelve a mantener una presión diferencial entre las dos cámaras de 0,1 bar. Las válvulas de presión diferencial son de asiento plano, encontrándose este en las cámaras superiores y a su vez estas son estancas entre sí.

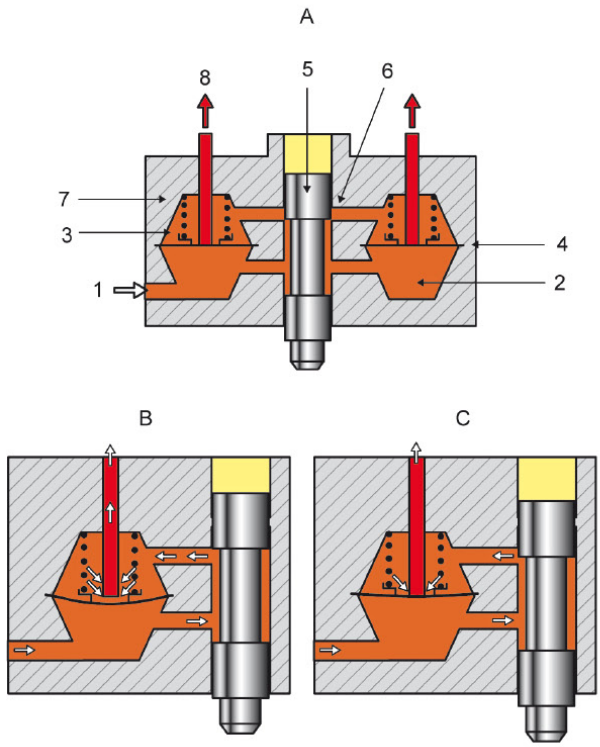


Figura 10.59. *Elementos de las válvulas de presión diferencial (A), funcionamiento con un elevado caudal de inyección (B) y funcionamiento con un reducido caudal de inyección (C).*

Hasta ahora se ha explicado el funcionamiento del sistema en condiciones de marcha normal, pero puede ser necesario enriquecer o empobrecer la mezcla según las necesidades del motor. Para ello hay que regular la presión de mando, como muestra la Figura 10.60. Esta presión actúa en la parte superior de la válvula corredera de dosificación (1). El

© Ediciones Paraninfo

circuito de presión de mando toma el combustible del que está a presión del sistema, pasando por un estrangulador (2), que sirve para desacoplar ambos circuitos, reduciendo la presión en el circuito de mando con respecto al de alimentación. La presión de control se aplica sobre la válvula de dosificación interponiendo un estrangulador (3), que sirve para amortiguar las oscilaciones del plato sonda por los efectos pulsatorios del aire aspirado. El valor de la presión de mando influye en la riqueza de la mezcla, ya que la posición de la válvula de dosificación dependerá de la fuerza debida a dicha presión, oponiéndose a la fuerza debida a la acción del aire aspirado sobre el mecanismo del plato sonda. Cuanto menor sea la presión de mando, el plato sonda puede elevar la válvula corredera con mayor facilidad y, por tanto, aumentar el caudal inyectado. Si la presión de mando es elevada, el plato sonda eleva la válvula con mayor dificultad, restringiendo el caudal de combustible hacia los inyectores, empobreciendo la mezcla. Existen dos condiciones fundamentales en las que es necesario un enriquecimiento de la mezcla: en el arranque en frío y a plena carga. El regulador de la fase de calentamiento se encarga de conseguir esto, variando la presión de mando.

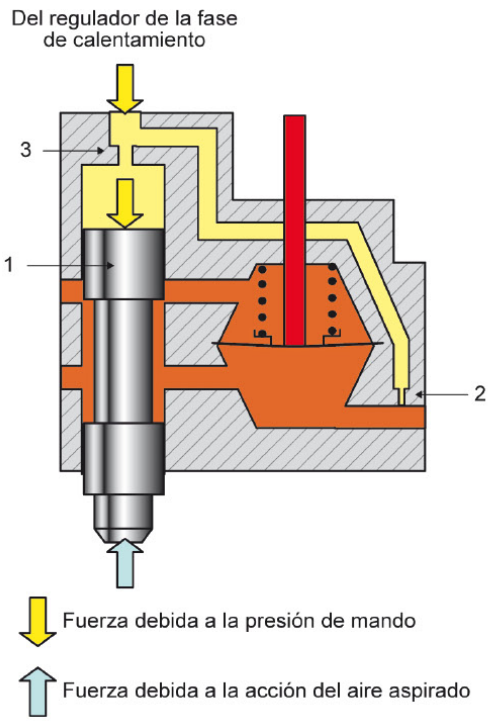


Figura 10.60. *Efecto de la presión de mando sobre la válvula de dosificación.*

El funcionamiento en marcha normal del sistema de inyección mecánica es equivalente al funcionamiento del circuito principal de un carburador.

La Figura 10.61 muestra un despiece real de un dosificador-distribuidor, aplicado a un motor de cuatro cilindros.

El regulador de la fase de calentamiento, mostrado en la Figura 10.62, se encarga de enriquecer la mezcla cuando el motor está frío. En el arranque en frío, parte del combustible se condensa en las paredes del colector de admisión, siendo necesario un enriquecimiento de la mezcla en la fase de calentamiento. El enriquecimiento de la mezcla se lleva a cabo disminuyendo la presión de mando. Cuando el motor está frío, el resorte bimetálico (1) fuerza el muelle (2) de la membrana (3), abriendo la válvula de asiento (4). De esta forma, se permite el paso de combustible desde el circuito de mando (5) hacia el retorno al depósito de combustible (6), reduciendo la presión de mando. El orificio de ventilación (7) asegura que el interior del regulador esté siempre a la presión atmosférica. El resorte bimetálico es calentado por una resistencia calefactora (8) y por el calor desprendido del propio motor. La alimentación de dicha resistencia se realiza electrónicamente a través del relé taquimétrico. Así, empieza a calentarse el bimetal desde el momento de arranque del motor, doblándose, con la consiguiente reducción de la fuerza sobre el muelle de la válvula de asiento, que poco a poco va obturando el retorno hacia el depósito, empobreciendo la mezcla por el aumento de la presión de mando. Con este sistema, la presión de mando cuando el motor está frío es de aproximadamente 0,5 bar y cuando el motor está a temperatura de régimen de unos 3,7 bar.

Normalmente, el regulador de la fase de calentamiento suele tener la función adicional de enriquecimiento a plena carga, como puede verse en la Figura 10.63. Una cámara adicional (1) contiene una membrana (2), que mediante un muelle adicional (3), controla la fuerza sobre la membrana de la válvula de asiento (4). Con cargas parciales, la depresión existente en el colector de admisión es transmitida al interior del regulador por el conducto (5), forzando la membrana hacia su tope superior, empujando al muelle y cerrando la válvula de asiento el retorno hacia depósito. En estas condiciones se produce una mezcla estequiométrica. Cuando se demanda plena carga, la mariposa de gases abre completamente, aumenta la presión en el colector de admisión y la membrana es forzada a su tope inferior, permitiendo la apertura de la válvula de asiento, que ahora deja paso de gasolina hacia el retorno, disminuyendo la presión de control y enriqueciendo la mezcla. El orificio de ventilación (6) puede estar comunicado con la atmósfera o con el filtro de aire. La tensión de los muelles ha de estar perfectamente calibrada para asegurar un buen funcionamiento conjunto en cualquier condición operativa del motor.

© Ediciones Paraninfo

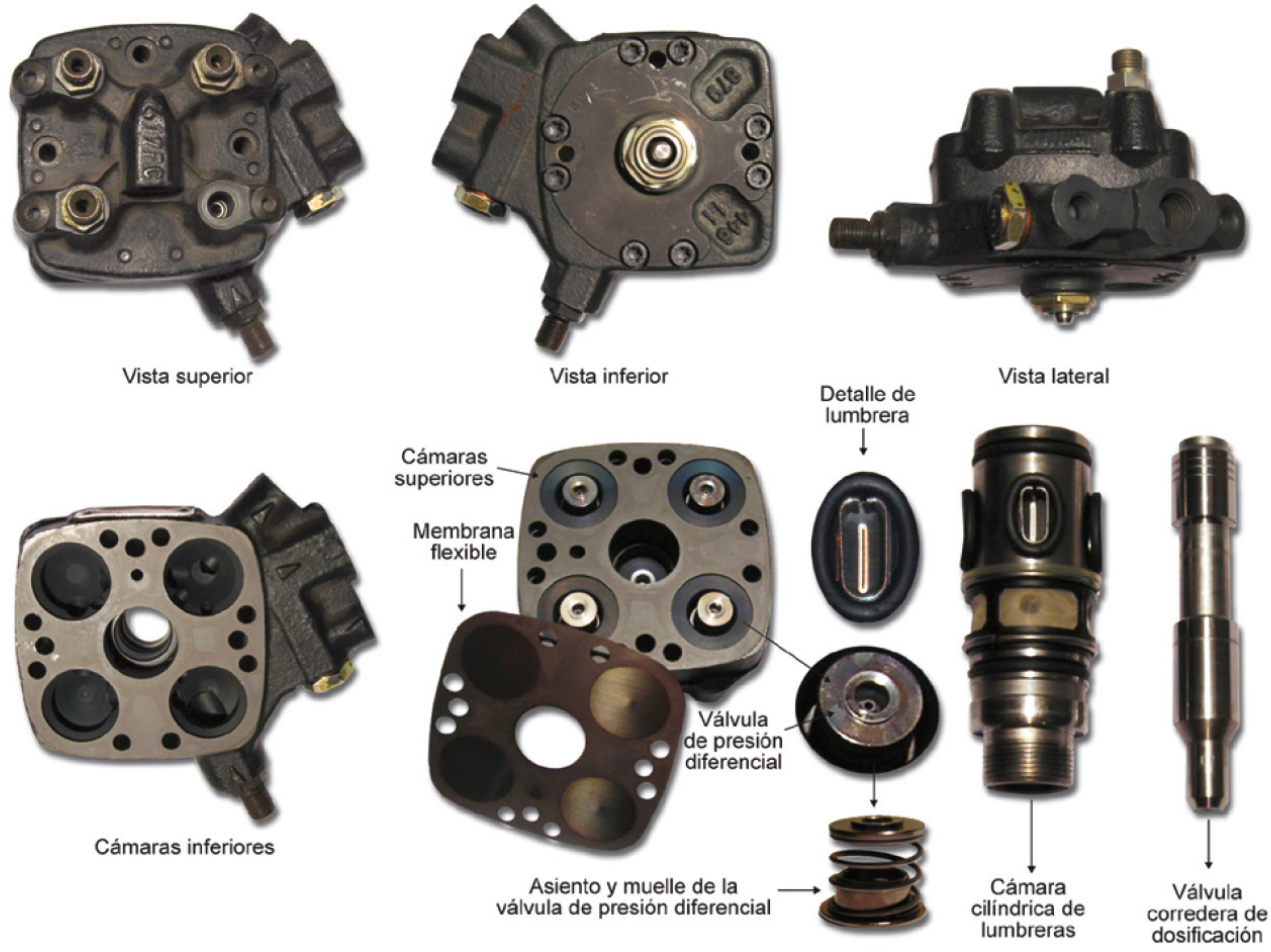


Figura 10.61. *Despiece de un dosificador-distribuidor de un motor de cuatro cilindros.*

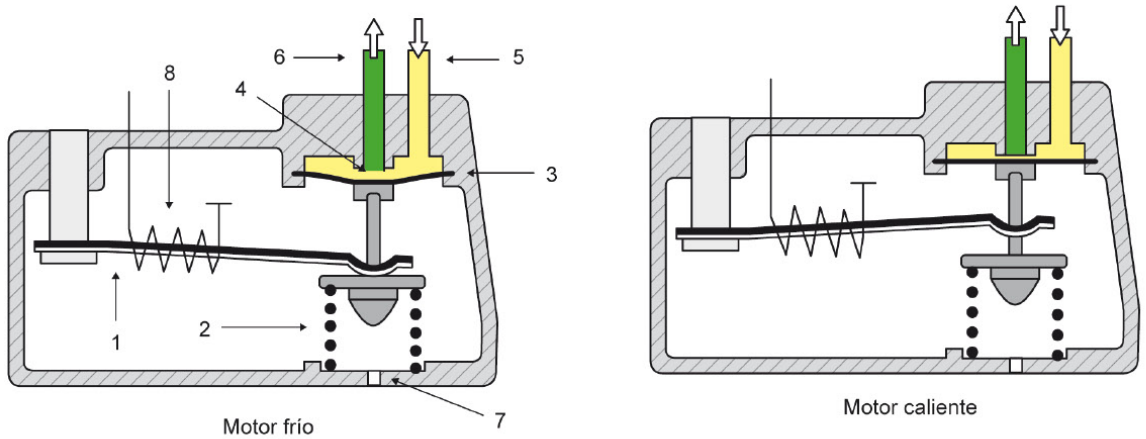


Figura 10.62. *Regulador de la fase de calentamiento.*

© Ediciones Paraninfo

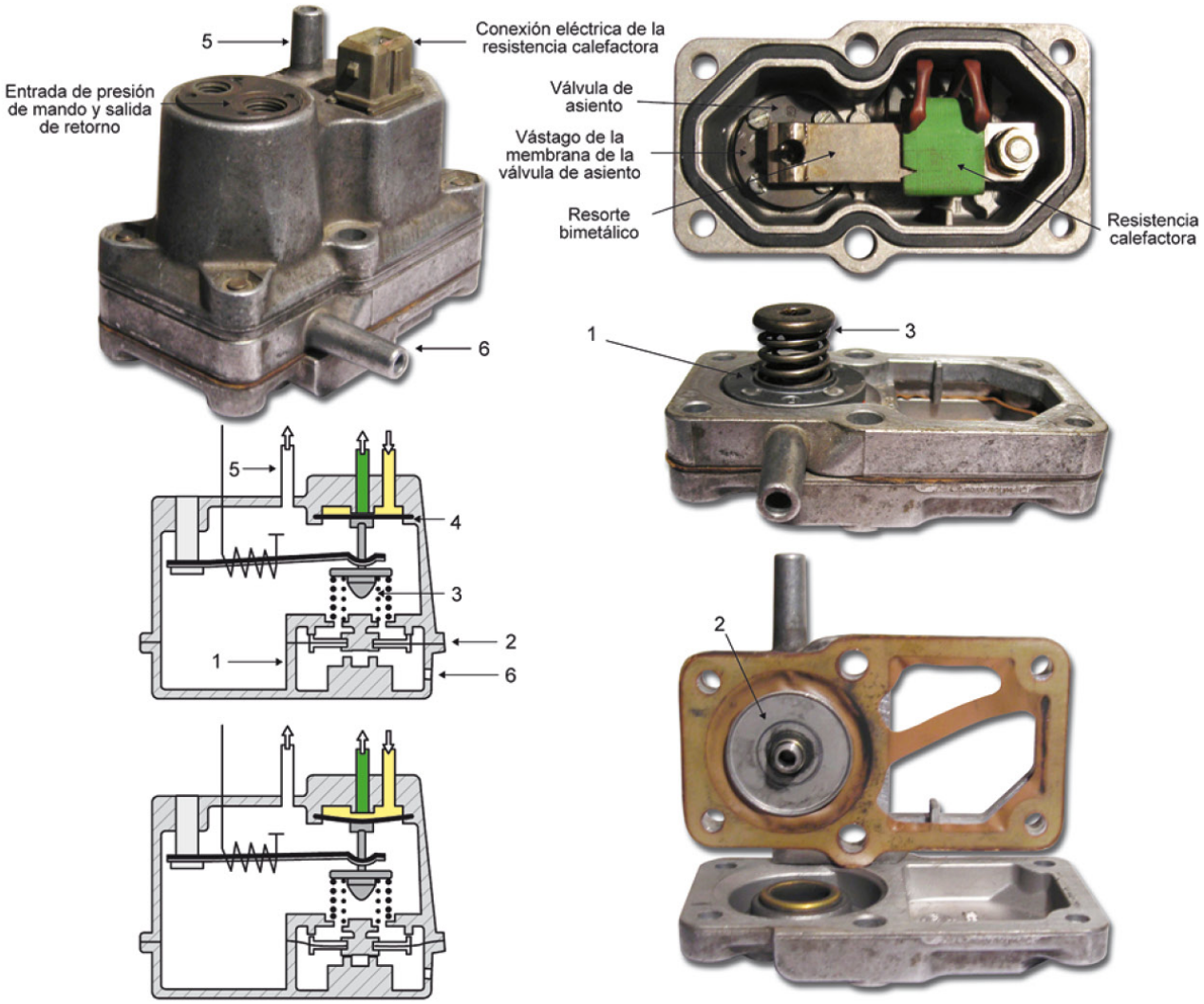


Figura 10.63. *Regulador de la fase de calentamiento con función adicional de enriquecimiento a plena carga.*

En el arranque en frío es necesario un enriquecimiento de la mezcla y un ralentí acelerado. Para enriquecer la mezcla, además del regulador de la fase de calentamiento, se tiene el inyector de arranque en frío. Para mantener un ralentí acelerado, se dispone de la válvula de aire adicional.

El funcionamiento del inyector de arranque en frío se describe a través de la Figura 10.64. Cuando la temperatura del motor es inferior a 35 °C, el resorte bimetálico del interruptor térmico temporizado, como el de la Figura 10.64.A, mantiene cerrados los contactos. Las conexiones eléctricas pueden verse detalladas en la Figura 10.64.B. Cuando se arranca el motor, el inyector de arranque en frío, mostrado en la Figura 10.64.C, es alimentado con un positivo tras la llave de contacto (15), cerrando el circuito a masa por el interruptor térmico temporizado. A su vez, mientras se arranca el motor, la resistencia calefactora del interruptor térmico es alimentada por el positivo de arranque (50). La resistencia calefactora calienta el bimetal y separa los contactos tras unos segundos, evitando así que el motor se ahogue por exceso de combustible, si tarda en producirse el arranque. Una vez arrancado el motor, se interrumpe la alimentación por los bornes 15 y 50. Cuando la temperatura del refrigerante supera los 35 °C, el bimetal se curva, separa los contactos y el inyector de arranque en frío deja de funcionar. Este inyector consiste en una válvula activada electromagnéticamente, que está normalmente cerrada gracias a la acción de un muelle. Cuando el electroimán es excitado, atrae al inducido, comprimiendo el muelle y dejando paso al combustible. La gasolina pasa por un pequeño filtro y es introducida finamente pulverizada y en forma de torbellino gracias a la forma del inyector.

© Ediciones Paraninfo

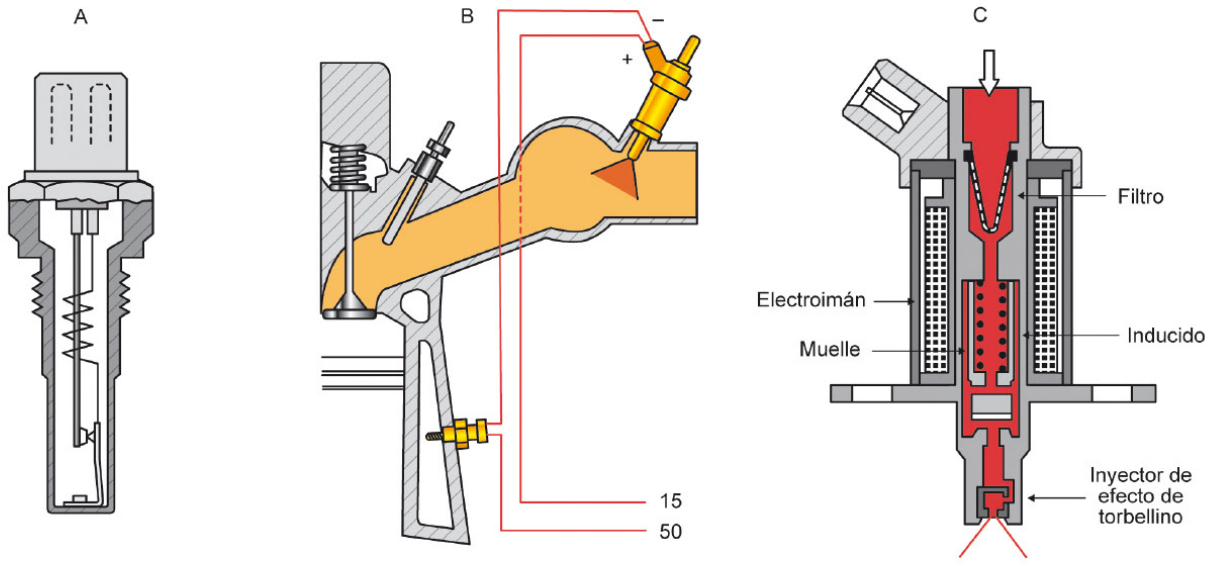


Figura 10.64. *Funcionamiento del inyector de arranque en frío.*

Sabías que...

En algunos motores, el inyector de arranque en frío introduce combustible adicional al motor en las aceleraciones mientras el motor está frío.

Para conseguir un ralentí acelerado cuando el motor está frío, se instala una válvula de aire adicional, cuyo funcionamiento aparece detallado en la Figura 10.65. Esta válvula consiste en un by-pass de aire que puentea la mariposa de gases, permitiendo un paso de aire adicional, aun cuando la mariposa de gases esté cerrada. Esta cantidad de aire aspirado es detectada por el plato sonda, lo que implica la

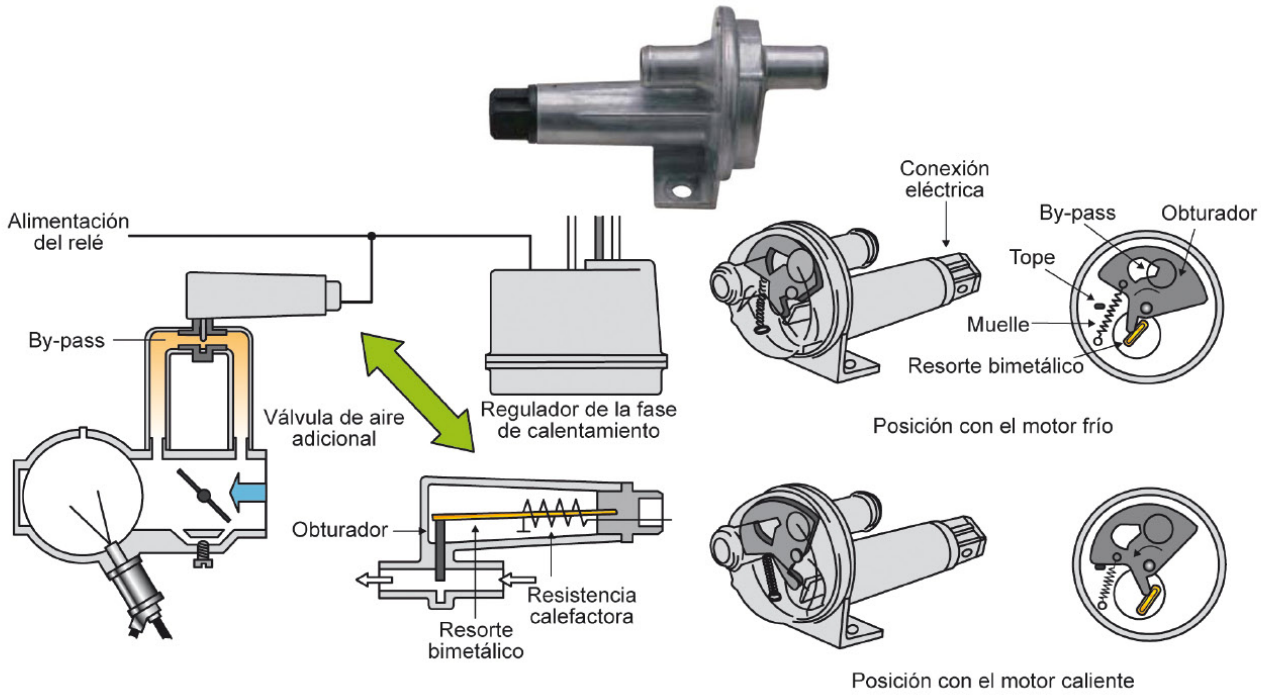


Figura 10.65. *Funcionamiento de la válvula de aire adicional.*

© Ediciones Paraninfo

introducción de un mayor volumen de mezcla. La sección del conducto de by-pass se regula por un disco obturador, accionado por un resorte bimetálico, que es calentado por una resistencia calefactora. Esta resistencia es alimentada en paralelo con la del regulador de la fase de calentamiento. Cuando el motor está frío, la sección de paso es máxima. Al arrancar el motor, la resistencia calefactora va calentando el bimetal, curvándolo y reduciendo la sección de paso. El movimiento del obturador es ayudado por la fuerza de un muelle, hasta que llega a su tope. El sistema se diseña para que el by-pass se vaya cerrando progresivamente hasta alcanzar la temperatura de régimen. La ubicación de la válvula de aire adicional debe ser tal que reciba el calor del motor para asegurar que no se pone en funcionamiento cuando esté a temperatura de trabajo.

El regulador de la fase de calentamiento, el inyector de arranque en frío y la válvula de aire adicional son el equivalente al dispositivo de arranque en frío del carburador, ya sea manual o automático. Por otro lado la función de enriquecimiento a plena carga es análoga al enriquecedor de plena carga del carburador.

Sabías que...

El enriquecimiento de la mezcla en el transitorio de aceleración se consigue por el sobreimpulso que sufre el plato sonda al entrar el aire bruscamente, cuando se abre de golpe la mariposa de gases. Esto hace que la válvula de dosificación suministre por un momento el caudal máximo, enriqueciendo la mezcla. Este efecto es el que se conseguía de forma análoga con la bomba de aceleración del carburador.

10.3.2. Evoluciones y otros sistemas

Las evoluciones más importantes de la inyección mecánica de gasolina son la implantación de un sistema de regulación Lambda para vehículos con catalizador y la inyección electromecánica KE-Jetronic.

Los elementos necesarios para realizar la regulación Lambda son los que aparecen en la Figura 10.66. Para poder funcionar con un catalizador de tres vías es necesaria una

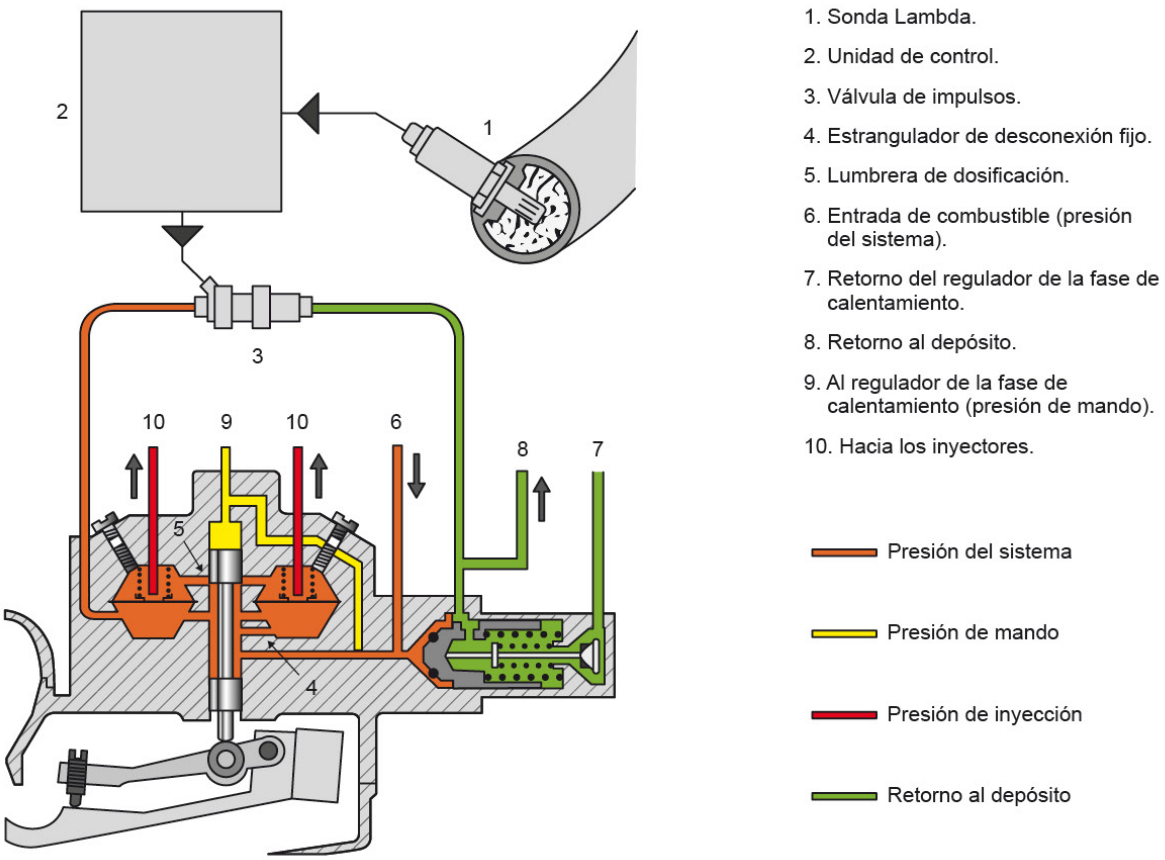
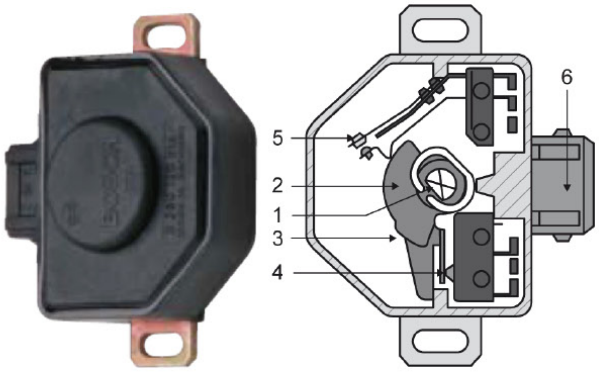


Figura 10.66. *Elementos del sistema de regulación Lambda.*

© Ediciones Paraninfo

mezcla estequiométrica, es decir, $F_R = 1$ o $\lambda = 1$. Esto implica la regulación continua de la presión en las cámaras inferiores del dosificador-distribuidor. La variación de presión en dichas cámaras obliga a desconectarlas de la presión del sistema a través de un estrangulador fijo. Otro estrangulador variable o válvula de impulsos conecta las cámaras inferiores con el retorno de combustible al depósito. En función de los valores de oxígeno detectados por la sonda Lambda, la unidad de control regulará el retorno al depósito de las cámaras inferiores, mandando impulsos eléctricos que abren la válvula electromagnética. Por este motivo se conoce como válvula de impulsos. Controlando la presión en las cámaras inferiores se podrá modificar la presión diferencial en las lumbreras de dosificación, adaptando el caudal de combustible aportado para conseguir una mezcla estequiométrica. Hay que tener en cuenta que a mayor presión diferencial, mayor caudal de combustible. Además de los valores de la sonda Lambda, la unidad de control recibe información de régimen de giro y posición de la mariposa de gases. La posición de la mariposa es detectada por medio del interruptor de la mariposa de gases, mostrado en la Figura 10.67.



1. Eje de giro de la mariposa de gases.
2. Leva de mando.
3. Perfil de leva a plena carga.
4. Contacto de ralentí.
5. Contacto de plena carga.
6. Conexión eléctrica.

Figura 10.67. *Funcionamiento del interruptor de la mariposa de gases.*

Recuerda que...

Es posible que haya elementos, como por ejemplo sensores, compartidos por el sistema de alimentación y el sistema de encendido.

La inyección electromecánica de gasolina KE-Jetronic mejora el rendimiento del motor y disminuye las emisiones contaminantes. Se basa en el sistema K-Jetronic pero con la implantación de un sistema electrónico que le permite una mayor adaptación a las condiciones operativas del motor. Los elementos más importantes de este sistema, en relación al K-Jetronic pueden identificarse en la Figura 10.68. Cabe destacar la unidad de control, que ahora procesa la temperatura del motor, además de la posición de la mariposa de gases a través de su interruptor y la posición del plato sonda por medio de un potenciómetro. Por otro lado, el regulador de la fase de calentamiento se sustituye por un actuador electrohidráulico y el regulador de presión de gasolina se ubica aparte. Debido a esto, el interior del dosificador-distribuidor tiene una configuración distinta.

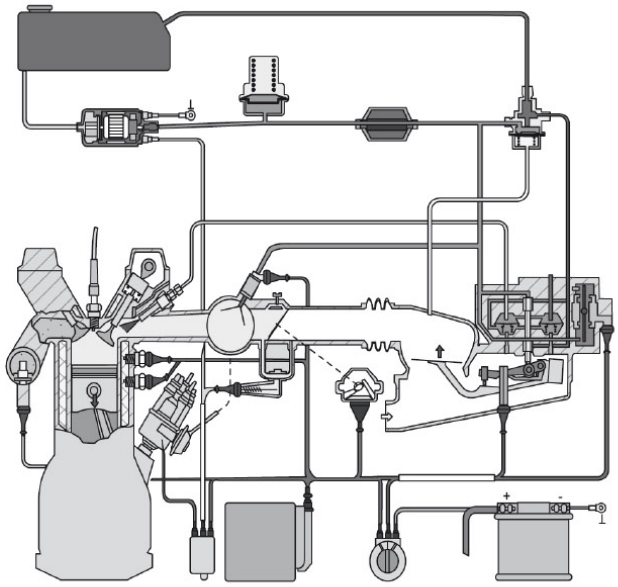


Figura 10.68. *Sistema KE-Jetronic.*

En la Figura 10.69 pueden observarse los cambios más importantes que sufre el dosificador-distribuidor del sistema KE-Jetronic. El regulador de presión del sistema es montado de forma independiente. En lugar del regulador de la fase de calentamiento se monta un actuador electrohidráulico, encargado de controlar la presión en las cámaras inferiores de las válvulas de presión diferencial. La parte superior de la válvula de dosificación está sometida a la presión del sistema, en vez de a la presión de mando, como ocurría en la K-Jetronic. Los muelles de las válvulas mantendrán siempre una diferencia de presiones de unos 0,2 bar. Por último, se dispone de una conexión lateral, para conectar el manómetro de verificación de presiones.

© Ediciones Paraninfo

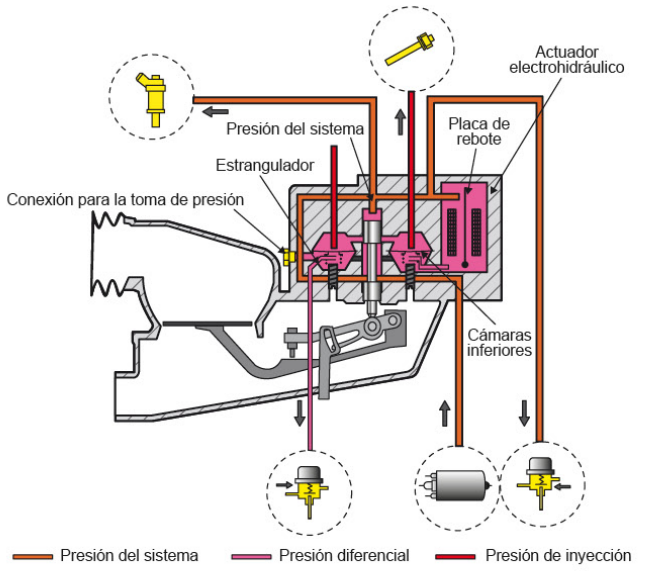


Figura 10.69. *Dosificador-distribuidor del sistema KE-Jetronic.*

En este sistema suelen instalarse dos bombas, una previa, que transvasa el combustible desde el depósito, y otra principal que manda la gasolina a la presión del sistema. La bomba principal tiene un depósito acumulador que asegura el abastecimiento de gasolina sin burbujas. Esto evita fallos de funcionamiento en caso de que la bomba previa interrumpa el suministro, por descebarse al tomar una curva estando el depósito en reserva, por ejemplo. La Figura 10.70 muestra los elementos del circuito de abastecimiento.

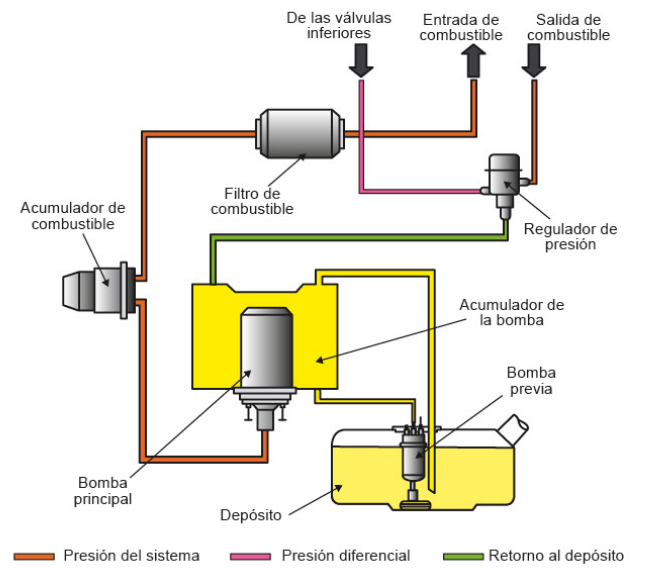


Figura 10.70. *Circuito de abastecimiento del sistema KE-Jetronic.*

El regulador de presión del sistema, representado en la Figura 10.71, funciona de la siguiente manera. Al activarse las bombas de gasolina, se alimenta el circuito de combustible a la presión del sistema. El circuito se bifurca, alimentando al dosificador-distribuidor y llegando al regulador de presión. La presión hace que la membrana de regulación venza la fuerza de su muelle y el combustible fluya por el interior del cuerpo de la válvula de retención hacia el retorno. El retorno se abre ya que el muelle inferior está libre y levanta la válvula de retención. El muelle de la membrana de regulación y la sección de paso de la válvula de retención son los encargados de mantener la presión del sistema a unos 6-6,5 kg/cm^2, dependiendo del modelo. La cámara del muelle está siempre a la presión atmosférica, conectada por un tubo al circuito de entrada de aire después del filtro, para que no entre suciedad. La gasolina sobrante del dosificador-distribuidor, a la presión diferencial, entra por otro conducto al regulador, y de ahí directamente al retorno. Cuando se para el motor, disminuye la presión del sistema y el muelle empuja la membrana de regulación, que a su vez mueve la válvula de retención en sentido de cierre, al vencer la fuerza del muelle inferior. De esta forma se cierra el retorno. A partir de ese momento se establece la presión de retención que evita la formación de burbujas y facilita el arranque en caliente.

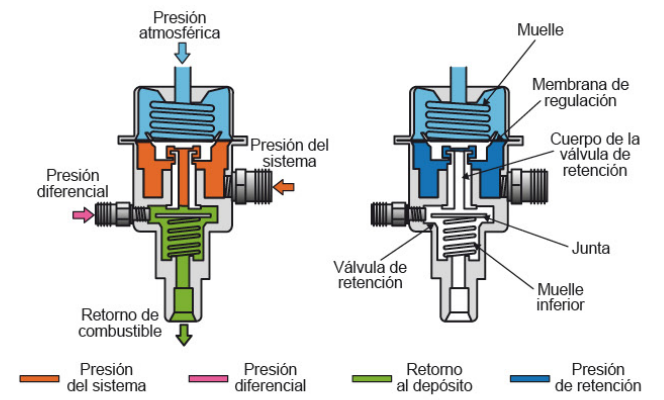


Figura 10.71. *Regulador de presión del sistema KE-Jetronic.*

El actuador electrohidráulico va instalado en un lateral del conjunto dosificador-distribuidor. Su ubicación y funcionamiento puede observarse en la Figura 10.72. Este actuador consiste en una electroválvula cuya alimentación depende de la unidad de control. En función de la alimentación, se moverá hacia un lado u otro una placa llamada de rebote. Esta placa controla la presión diferencial, aumentando o disminuyendo la presión en las cámaras inferiores, a través de la mayor o menor obturación de un conducto que las comunica con el circuito principal de alimentación. El funcionamiento del actuador puede resumirse en tres estados:

- **Enriquecimiento de la mezcla:** si la unidad de control detecta que es necesario enriquecer la mezcla, esta aumenta el valor de la corriente de alimentación de la

© Ediciones Paraninfo

electroválvula. En estas circunstancias, la placa de rebote obtura el conducto de entrada de combustible hacia las cámaras inferiores. De esta forma, disminuye la presión en estas y la membrana se deforma hacia abajo, aumentando el caudal de combustible dirigido a los inyectores. El enriquecimiento de la mezcla es necesario en las fases de arranque, aceleración, plena carga o, si incorpora regulación Lamda, cuando la mezcla sea pobre.

- **Empobrecimiento de la mezcla:** si la unidad de control considera que hay que empobrecer la mezcla, disminuye la corriente de alimentación de la electroválvula, separando la placa del conducto de entrada de gasolina. Así, aumenta la presión en las cámaras inferiores, deformándose la membrana hacia arriba y disminuyendo el caudal de gasolina enviado hacia los inyectores. El empobrecimiento de la mezcla debe producirse en el caso de funcionamiento del motor en régimen permanente o si la sonda Lambda detecta una mezcla muy rica, a partir de los gases de escape.

- **Corte de combustible:** si la unidad de control invierte la polaridad de la alimentación a la electroválvula, esta hace que la placa de rebote se separe completamente del conducto de entrada de combustible. La presión en las cámaras inferiores se eleva en gran medida, haciendo que la membrana se deforme hacia arriba hasta cerrar el paso de combustible dirigido a los inyectores. El corte de combustible se produce en las fases de deceleración o para limitar el régimen máximo de giro del motor, como protección del mismo.

Gracias al actuador electrohidráulico, se puede realizar un ajuste preciso de la mezcla, por lo que el sistema KE-Jetronic puede funcionar con regulación Lambda, en el caso de instalar un catalizador de los gases de escape.

En el sistema KE-Jetronic, la válvula de aire adicional se sustituye por la válvula de estabilización de ralentí, detallada en la Figura 10.73. Esta válvula consiste en un by-pass de aire de la mariposa de gases, que es gestionado por la unidad de control, para evitar las oscilaciones del motor cuando este está frío o para aumentar el régimen de ralentí cuando se añade una carga adicional, como por ejemplo la conexión del compresor del aire acondicionado. El aspecto exterior de esta válvula puede verse en la Figura 10.73.A. Sus elementos básicos pueden observarse en la Figura 10.73.B. Consta de un obturador giratorio unido a un inducido similar al de un motor eléctrico, sobre el que se montan dos arrollamientos que, al aplicarles tensión, generan pares de giro opuestos. Un muelle de retroceso mantiene el obturador en la posición de reposo cuando los bobinados no son alimentados. Cada bobinado recibe alimentación

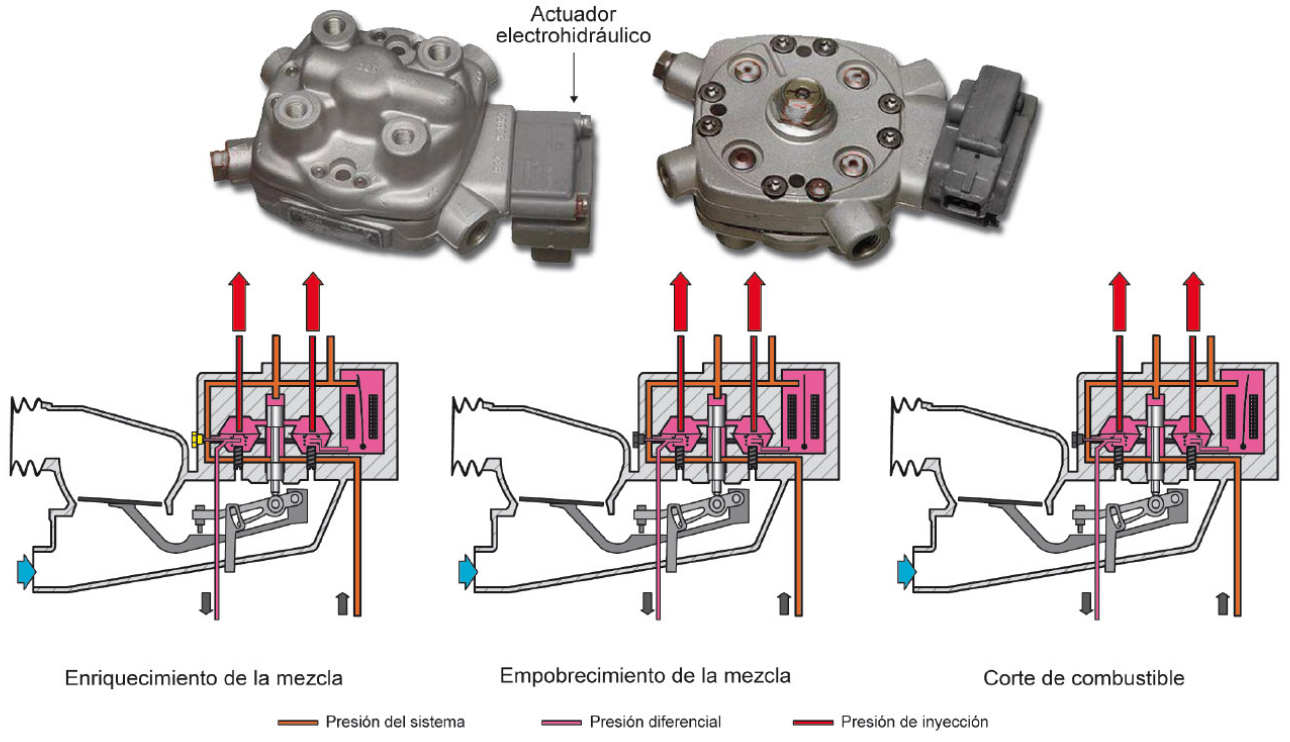


Figura 10.72. *Funcionamiento del actuador electrohidráulico del sistema KE-Jetronic.*

© Ediciones Paraninfo

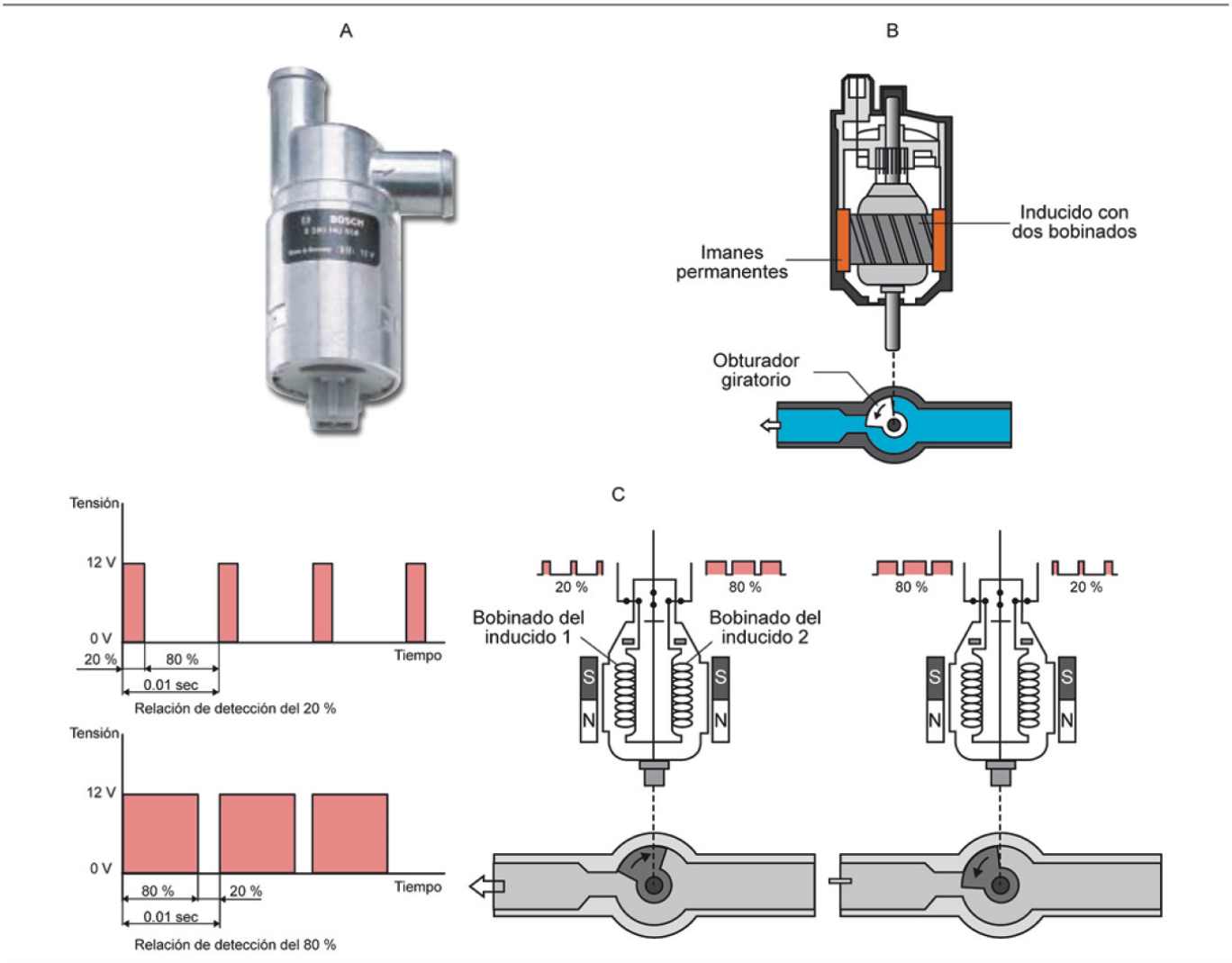


Figura 10.73. *Válvula de estabilización de ralentí.*

procedente de la unidad de control en forma de señal PWM (*Pulse Wide Modulation*) o señal con anchura de pulso modulada. Esta señal es enviada a una frecuencia constante y lo que se varía es el tiempo que está conectada a masa. Cuanto menos tiempo esté conectada a masa, la alimentación del actuador se producirá durante más tiempo. En consecuencia, el valor medio de la señal aumentará y será equivalente a alimentar el dispositivo con una tensión mayor. El funcionamiento de la válvula aplicando este tipo de señal se explica a través de la Figura 10.73.C. La unidad de control alimenta la válvula con una corriente pulsatoria en un periodo constante de 0,01 segundos. La relación entre los tiempos de conexión y desconexión a masa se conoce como relación de detección. De esta forma, una relación de detección del 20 % significa que la válvula es alimentada a 12 V durante un 20 % del periodo y está conectada a masa durante un 80 % del mismo. Cuando la unidad de control estima que hay que aumentar el régimen de ralentí, aumenta, por ejemplo, la relación de detección en el bobinado 2, circulando una mayor corriente por este, y la disminuye en el 1. Esto hace girar el inducido en el sentido de mayor apertura del by-pass, aumentando el régimen de ralentí. En caso de querer disminuir dicho régimen, se actúa de forma inversa. El margen de regulación está limitado para que, en caso de avería del sistema, el motor no se acelere de forma excesiva.

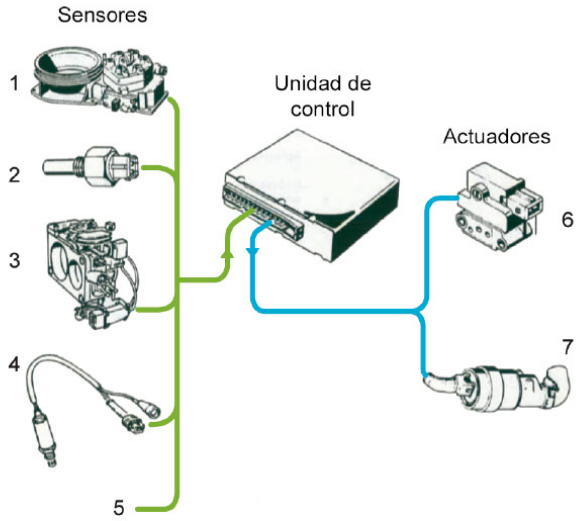
Recuerda que...

La proporción del periodo de una señal, en la que esta se encuentra conectada a masa, se conoce como porcentaje Dwell.

© Ediciones Paraninfo

El sistema de control de actuadores mediante señales de tipo PWM está ampliamente extendido.

La Figura 10.74 muestra un resumen de los sensores y actuadores más importantes del sistema KE-Jetronic.



1. Potenciómetro del plato sonda.
2. Sensor de temperatura del refrigerante.
3. Interruptor de la mariposa de gases.
4. Sonda Lambda.
5. Otras señales (como la de conexión del compresor de A/C).
6. Actuador electrohidráulico.
7. Válvula de estabilización de ralentí.

Figura 10.74. *Sensores y actuadores del sistema KE-Jetronic.*

El sistema KE-Jetronic ha sufrido diferentes evoluciones, nombrándose a continuación las más importantes:

- **KE1-Jetronic:** incorpora las mismas funciones que el sistema K-Jetronic, siendo la electrónica de la unidad de control analógica.
- **KE2-Jetronic:** añade la regulación Lambda y la válvula de estabilización del ralentí. La electrónica de la unidad de control es analógica, excepto para el control del ralentí, que es digital.
- **KE3-Jetronic:** en este sistema la unidad de control es de electrónica digital.
- **KE-Motronic:** se dispone de una unidad de control única que gestiona conjuntamente el sistema de inyección y el de encendido, con función de autodiagnosis. Puede incorporar un filtro de carbón activo para los vapores del depósito (cánister) y sensor de detonaciones.

10.3.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones

El mantenimiento del sistema de inyección mecánica es muy similar al del carburador, en cuanto a la sustitución del filtro de aire y de combustible con la periodicidad estipulada por el fabricante.

A continuación se van a explicar las comprobaciones más importantes sobre este sistema, a fin de servir como referencia en la búsqueda de las causas que ocasionan posibles averías. En cualquier caso, para atender a las peculiaridades de cada sistema, es necesario seguir las instrucciones del manual del fabricante.

Las comprobaciones más importantes en el sistema K-Jetronic son:

- **Comprobación del plato sonda:** se divide a su vez en tres operaciones, mostradas en la Figura 10.75, que son:
  - **Comprobación del recorrido del plato:** consiste en mover hacia arriba y hacia abajo el plato sonda con la ayuda de un imán, como muestra la Figura 10.75.A. En los movimientos rápidos hacia abajo no debe presentar resistencia, en caso contrario, puede que haya que sustituir el medidor del caudal de aire. Si se nota una excesiva resistencia en el movimiento ascendente, el problema es de la válvula de dosificación.
  - **Comprobación de la altura de reposo del plato:** previamente hay que accionar el arranque durante 10 o 15 segundos aproximadamente. Tras este periodo, el plato sonda debe estar a menos de 0,5 mm del comienzo del cono, representado en la Figura 10.75.B como el espacio de tolerancia (h). Si no es correcto, hay que actuar sobre la abrazadera (a) teniendo cuidado de no dañar el cono y de no forzar el resorte de láminas (r).
  - **Comprobación del centrado del plato en el cuerpo:** hay que medir con una galga de espesores de 0,10 mm la distancia entre el borde del plato sonda y el cuerpo del distribuidor, según la Figura 10.75.C. Si el plato sonda estuviese descentrado hay que actuar sobre su tornillo central.
- **Ajuste de ralentí y de CO:** para ello hay que realizar los siguientes pasos:
  - Comprobar que la puesta a punto del encendido esté correcta, así como el estado de las bujías y del filtro del aire.
  - Arrancar el motor y llevarlo hasta la temperatura de régimen.

© Ediciones Paraninfo

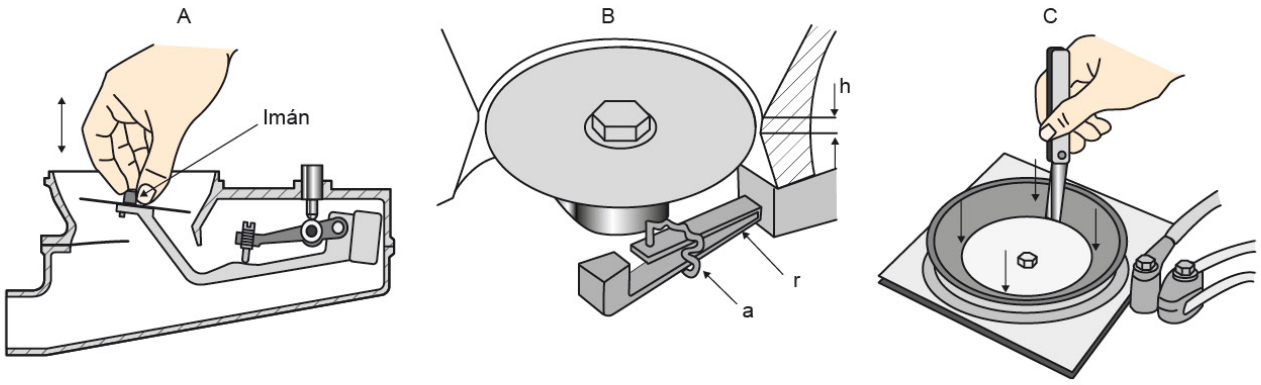


Figura 10.75. *Comprobación del plato sonda: recorrido (A), altura de reposo (B) y centrado (C) del plato.*

– Instalar un analizador de gases de escape y un cuentarrevoluciones.

– Estabilizar el motor manteniéndolo durante 30 segundos a 3000 rpm y luego dejarlo al ralentí. Los valores de CO y de rpm de ralentí han de ser los prescritos por el fabricante. Si no es así hay que continuar con el ajuste, representado en la Figura 10.76, que se lleva a cabo de la siguiente forma:

  » Volver a estabilizar el motor, llevándolo a 3.000 rpm y retornándolo al ralentí. Tras alcanzar este último régimen, solo se dispone de 30 segundos para hacer el ajuste.

  » Actuar sobre el tornillo situado en la caja de la mariposa de gases, mostrado en la Figura 10.76.A, hasta alcanzar el régimen de ralentí especificado.

  » Actuar sobre el tornillo de riqueza de la mezcla situado en el cuerpo del medidor del caudal de aire, como puede verse en la Figura 10.76.B, hasta conseguir el valor de CO prescrito.

  » Estabilizar el motor llevándolo a 3000 rpm y dejarlo caer hasta ralentí, comprobando que los valores de rpm y CO son correctos. De no ser así habrá que repetir el proceso.

- **Comprobación del circuito de alimentación:**

  – **Comprobación de la presión del sistema:** para comprobar las presiones es necesario instalar un manómetro con grifo incorporado, como el que se indica en la Figura 10.77. Debe colocarse en el conducto que comunica el dosificador-distribuidor con el regulador de la fase de calentamiento. El grifo debe quedar entre el manómetro y el regulador, con el fin de aislar este en determinadas pruebas.

    En la verificación de las presiones de alimentación es necesario que la bomba de combustible funcione. Sin embargo no es necesario que esté arrancado el motor. Para conseguir esto, se puentea el relé taquimétrico entre los terminales 30 y 87b, como muestra la Figura 10.78.

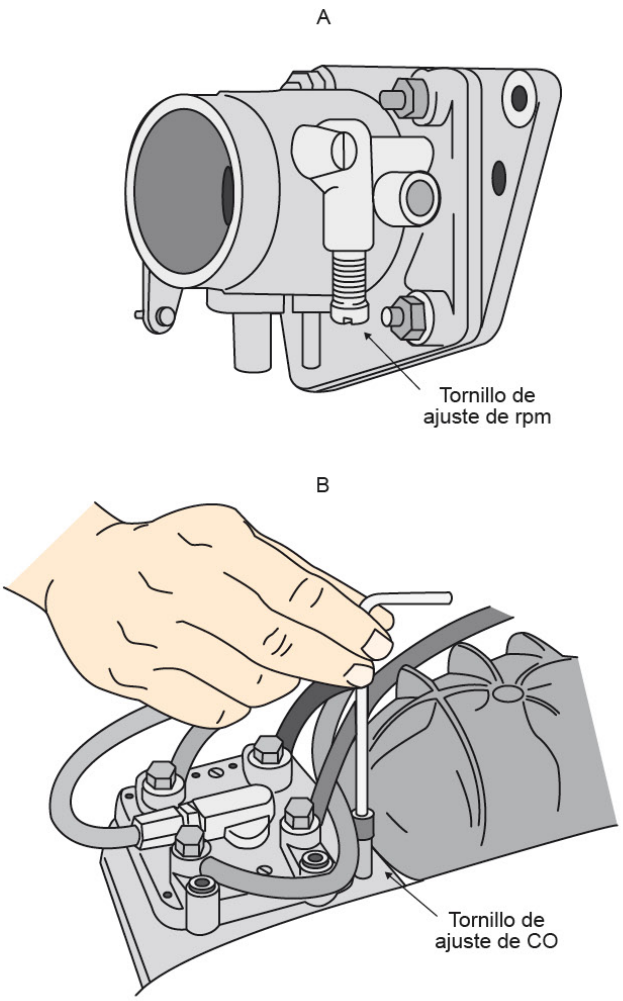


Figura 10.76. *Ajuste del ralentí y de CO.*

© Ediciones Paraninfo

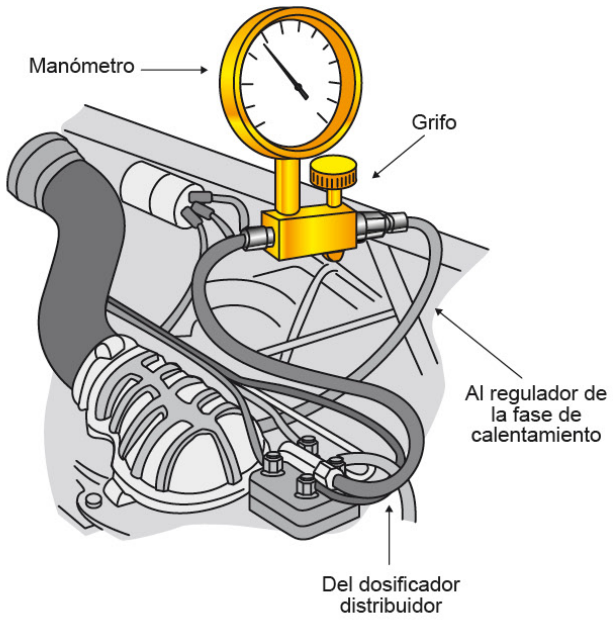


Figura 10.77. *Instalación del manómetro con grifo incorporado.*

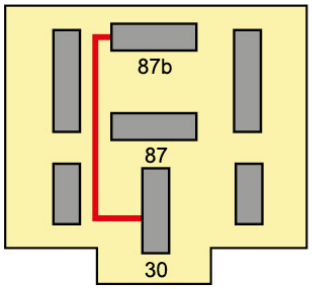


Figura 10.78. *Puente entre los terminales del relé taquimétrico.*

Recuerda que...

Al hacer estas pruebas a motor parado, habrá que desacoplar los inyectores del colector, para que no introduzcan gasolina en el motor y no los inunden de combustible. El combustible inyectado deberá recogerse en un recipiente adecuado.

Una vez ha entrado en funcionamiento la bomba, se cierra el grifo del manómetro y se mira la presión del sistema en el mismo, que debe estar dentro de los límites del fabricante, del orden de 5,2 a 6 bar. Si no cumple con las especificaciones, hay que desmontar el regulador de presión, como indica la Figura 10.79, sustituyendo las arandelas calibradas de reglaje hasta obtener la lectura correcta. En esta operación hay que cambiar la junta tórica del regulador.

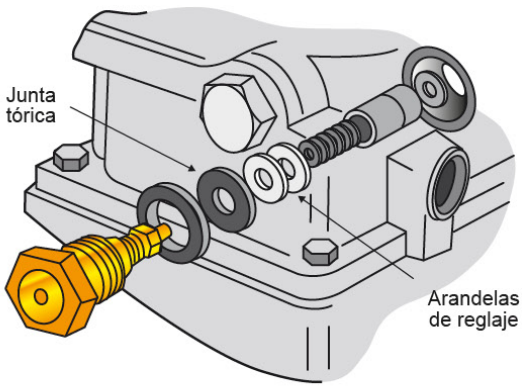


Figura 10.79. *Desmontaje y calibración del regulador de presión.*

– **Comprobación de la presión de mando con el motor frío:** de esta forma se comprueba el funcionamiento del regulador de la fase de calentamiento. Para hacer esta verificación, se parte de la instalación del manómetro mencionada anteriormente, se puentea el relé taquimétrico de la misma forma y se lleva a cabo con el motor frío. En este caso, el grifo del manómetro ha de estar abierto. Se deberán ir anotando los valores de presión obtenidos y la temperatura ambiente, comparando estos puntos con el gráfico de especificaciones de la presión de mando ofrecido por el fabricante, representado en la Figura 10.80. Si no cumple con la especificación habrá que revisar el regulador de la fase de calentamiento.

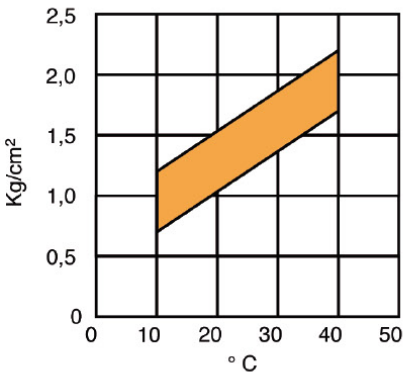


Figura 10.80. *Gráfico de especificaciones de la presión de mando.*

– **Comprobación de la presión de mando con el motor caliente:** esta es otra verificación del funcionamiento del regulador de la fase de calentamiento. Se continúa con el mismo montaje del manómetro, pero ahora hay que puentear el relé taquimétrico como indica la Figura 10.81, de forma que se alimente la bomba de combustible por el terminal 87b y el regulador de la fase de calentamiento y válvula de aire adicional por el 87. Una vez

© Ediciones Paraninfo

hecho esto hay que esperar unos 5 o 6 minutos para que la lámina bimetálica se caliente. Pasado este tiempo, se abre el grifo del manómetro y se mira la presión indicada en el mismo, que debe estar comprendida entre 3,4 y 3,8 bar.

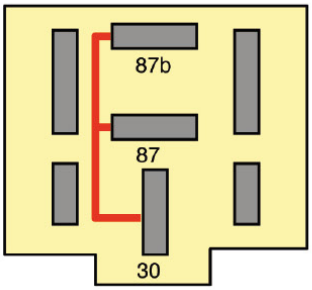


Figura 10.81. *Puente entre los terminales del relé taquimétrico.*

- **Comprobación de la presión de retención:** con esta prueba puede verificarse el estado del acumulador de combustible y la estanqueidad del sistema. El montaje es el mismo que se emplea en las pruebas anteriores. Se abre el grifo del manómetro y se puentea el relé taquimétrico durante 30 segundos. Tras parar la alimentación de la bomba se toman medidas de las presiones pasado un tiempo. De forma orientativa, a los 10 minutos la presión debe ser mayor o igual que 3 bar y a los 20 mayor o igual que 2,5 bar.
- **Comprobación del caudal de la electrobomba de combustible:** para ello hay que desacoplar del distribuidor dosificador el conducto de alimentación procedente de la bomba, introduciéndolo posteriormente en una probeta, como muestra la Figura 10.82. A modo de referencia, a los 30 segundos de funcionamiento de la bomba, en la probeta debe haber entre 750 y 760 cm^3 de gasolina. Si el volumen es menor, hay que comprobar que la alimentación de la bomba es mayor que 11,5 V y el estado del filtro. Una vez revisado esto, puede que haya que sustituir la bomba.

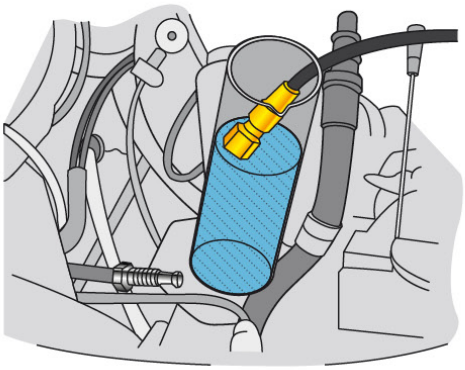


Figura 10.82. *Comprobación del caudal de la electrobomba de combustible.*

- **Comprobación del caudal inyectado por los inyectores:** para realizar esta prueba hay que desacoplar los inyectores del colector, introduciendo cada uno de ellos en una probeta, según la Figura 10.83. Posteriormente se puentea el relé taquimétrico para hacer funcionar la bomba. En función del tiempo de alimentación de la bomba y de la posición del plato sonda con respecto a su posición de reposo, que da idea de la carga del motor, deberán anotarse las diferencias de volumen entre los distintos inyectores. Estas diferencias se obtendrán restando el mayor volumen inyectado del menor, no debiendo superar el valor prescrito. La Tabla 10.2 muestra valores orientativos para realizar esta prueba.

TABLA 10.2

Prueba	*t* de alimentación	Altura del plato sonda	Diferencia máxima
Ralentí	2 minutos	2 mm	3,0 cm^3
Carga parcial	1 minuto	12 mm	5,0 cm^3
Plena carga	30 segundos	24 mm	5,0 cm^3

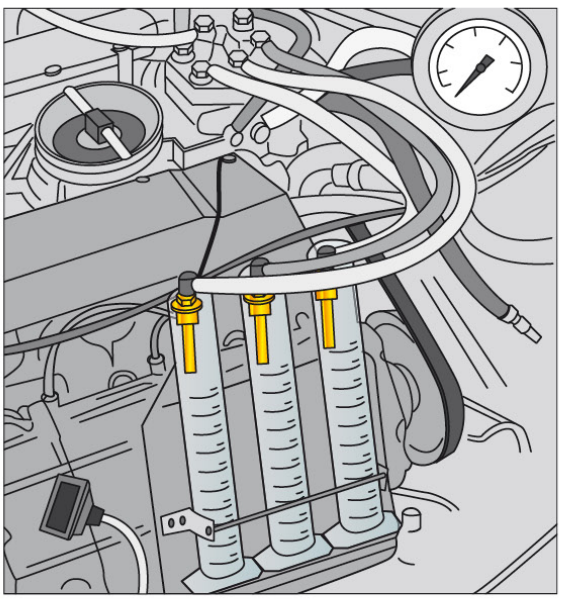


Figura 10.83. *Comprobación del caudal inyectado por los inyectores.*

- **Comprobación del estado de los inyectores:** consiste en instalar los inyectores en un banco de pruebas y comprobar su presión de apertura, pulverización y estanqueidad. Con el manómetro del banco se observará que los inyectores abren a una presión de entre 4 y 4,3 bar, estando todos dentro de este rango. La forma de la pulverización debe ser tal que generen un cono de unos 35°. Por último, se comprobará que no gotean una vez parada la bomba. En este tipo de bancos se puede realizar también la limpieza de los inyectores.

© Ediciones Paraninfo

- **Comprobación de otros elementos:**
  - **Comprobación del regulador de la fase de calentamiento:** consiste, como muestra la Figura 10.84, en verificar la tensión de alimentación y la resistencia del elemento calefactor del bimetal. Para comprobar la tensión de alimentación hay que desconectar la conexión eléctrica del regulador, según la Figura 10.84.A. Posteriormente se puentea el relé taquimétrico entre los terminales 30 y 87, midiendo la tensión entre los bornes del conector, que debe ser superior a 11,5 V. Si es inferior habrá que revisar la instalación. El valor óhmico de la resistencia calefactora del bimetal se hace como aparece en la Figura 10.84.B. Se instalan las puntas de un polímetro, en posición de medida de resistencia, en los bornes de la conexión eléctrica del regulador. El valor de resistencia debe ser el indicado por el fabricante. Si no coinciden, puede que haya que sustituir el regulador.

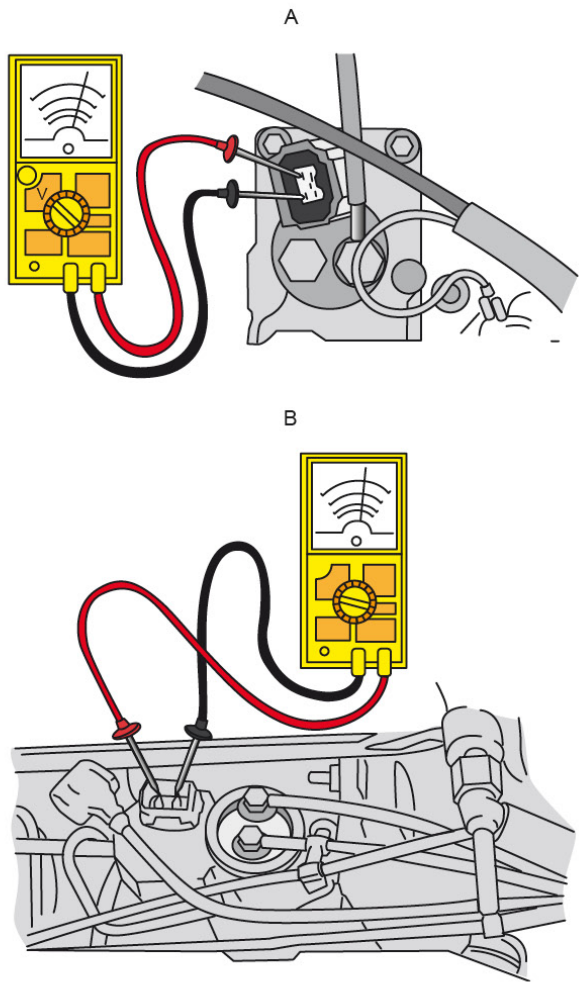


Figura 10.84. *Comprobación del regulador de la fase de calentamiento: tensión de alimentación (A) y resistencia (B).*

  - **Comprobación del inyector de arranque en frío:** para hacer esta prueba hay que asegurar que el motor esté frío, a menos de 20 °C. Primero se comprobará que al accionar el arranque le llega una tensión de alimentación superior a 11,5 V, utilizando un voltímetro. Si esto no se cumple habrá que revisar la instalación eléctrica. También se puede comprobar la pulverización y el tiempo de inyección. Para ello se desmonta el inyector y se coloca en una probeta. Se acciona el arranque y el inyector ha de funcionar durante 2 o 3 segundos, generando un cono uniforme de unos 80°. Por último, se hace funcionar la bomba de combustible y se comprueba la estanqueidad del inyector. Si gotease es necesario sustituirlo.
  - **Comprobación del interruptor térmico temporizado:** en este caso también hay que asegurar que la temperatura del motor es inferior a 20 °C. Hay que comprobar que el interruptor recibe una tensión superior a 11,5 V al accionar el arranque. Cronometrando el tiempo de funcionamiento del inyector de arranque en frío, se puede comprobar que el interruptor térmico temporizado está correcto. Cuando el motor está caliente, el inyector de arranque en frío no debe funcionar.
  - **Comprobación de la válvula de aire adicional:** en este caso se puede comprobar visualmente que cuando el motor está frío, el by-pass está abierto y cuando está caliente se encuentra completamente cerrado. También puede medirse la alimentación de la válvula y su resistencia, debiendo coincidir con los valores del fabricante.

Para el sistema KE-Jetronic, muchas de las comprobaciones son similares a las del K-Jetronic. A continuación se resumen las operaciones particulares más importantes de este sistema:

- **Comprobación del plato sonda:** la verificación más importante es la del potenciómetro. Lo primero que hay que hacer es medir su resistencia, cuyo valor debe ser de unos 4 kΩ. Posteriormente, se medirá la tensión de alimentación procedente de la unidad de control, que debe ser de aproximadamente 5 V. También se puede medir la variación de resistencia a medida que se mueve el plato sonda, desde su posición de reposo hasta la de máxima apertura.
- **Comprobación del circuito de alimentación:** para comprobar el circuito de alimentación se deberá instalar un manómetro con grifo, del mismo tipo que el empleado para la K-Jetronic. Uno de los racores se instalará en la toma de presión de las cámaras inferiores y el otro en la cabeza de la válvula de dosificación. Las operaciones más importantes son:
  - **Comprobación de la máxima presión de la electrobomba:** para hacer esta prueba hay que cerrar el grifo del manómetro, puentear el relé de la bomba y obstruir

© Ediciones Paraninfo

el tubo de retorno principal. En estas circunstancias, debe leerse una presión de unos 7 bar, siendo este el tarado de la válvula de sobrepresión, incorporada en la electrobomba. En cualquier caso, la presión ha de ser superior a la del sistema. Si no es así, habrá que comprobar la alimentación de la bomba, el filtro de combustible y la bomba.

- **Comprobación de la presión del sistema:** con el mismo montaje anterior, se abre el grifo del manómetro y la lectura ha de ser de entre 5 y 6 bar. Si la lectura no es correcta, el problema es del regulador de presión del sistema, debiendo sustituirse.
- **Comprobación de la presión en las cámaras inferiores:** en este caso, el grifo del manómetro deberá de estar cerrado. También hay que desconectar la conexión del actuador electrohidráulico. En estas condiciones, el manómetro debe indicar una presión inferior a la del sistema, entre 0,3 y 0,5 bar menos. Si la presión no varía con respecto a la del sistema, puede que el paso calibrado de las válvulas inferiores esté obstruido. Si no es debido a esto, el actuador electrohidráulico está defectuoso.
- **Comprobación de la presión residual:** con el mismo montaje anterior, se hace funcionar la electrobomba durante unos segundos, se abre el grifo del manómetro y se deja que el circuito alcance la presión del sistema. Después se para la bomba y se observará que la presión desciende hasta unos 3 bar. Posteriormente, se observará cómo la presión va disminuyendo con el tiempo, según lo prescrito por el fabricante. Si no se cumple lo anterior, puede ser defecto del acumulador o alguna fuga.

- **Comprobación de otros elementos:**
  - **Comprobación del actuador electrohidráulico:** los posibles fallos de este elemento pueden descubrirse al hacer las comprobaciones de las diferentes presiones, en distintas condiciones operativas del motor. Para asegurar el buen funcionamiento del actuador, deberá medirse la corriente a la vez que se observan las presiones para cada condición de funcionamiento, debiendo coincidir con los valores especificados por el fabricante. Otra prueba que se puede hacer es la medida de la resistencia de su bobinado, entre los terminales de conexión, que debe ser de aproximadamente 20 Ω.
  - **Comprobación del estabilizador de ralentí:** para empezar su verificación, se mide la tensión de alimentación, que debe ser la de batería. Por otro lado, la resistencia del bobinado interior, medida entre los dos terminales de conexión, será de entre 10 y 20 Ω. Por último, se controlarán los impulsos de mando de la unidad de control. Para ello, se arranca el motor y se conecta la sonda del osciloscopio en el terminal negativo, observándose la señal en la pantalla. La duración de los impulsos dependerá de la temperatura del motor y de la conexión o desconexión del compresor del aire acondicionado, debiéndose observar estos cambios.
  - **Comprobación de la unidad de control:** hay que tener en cuenta que la unidad de control recibe información de los diferentes sensores y gobierna los actuadores, por lo que puede que el fallo de estos últimos sea debido a que la unidad de control esté defectuosa. Las comprobaciones básicas de la unidad de control son su tensión de alimentación, su conexión a masa y la verificación de las señales de entrada, como por ejemplo régimen de giro, información de arranque…

10.4. La inyección electrónica monopunto

10.4.1. Características, componentes y funcionamiento

Los sistemas de inyección monopunto se caracterizan por disponer de un único inyector para todos los cilindros. Este inyector suministra el combustible antes de la mariposa de gases, como muestra esquemáticamente la Figura 10.85. La apertura del inyector se hace de forma electrónica. Como es lógico, es una inyección indirecta porque introduce el combustible fuera del cilindro.

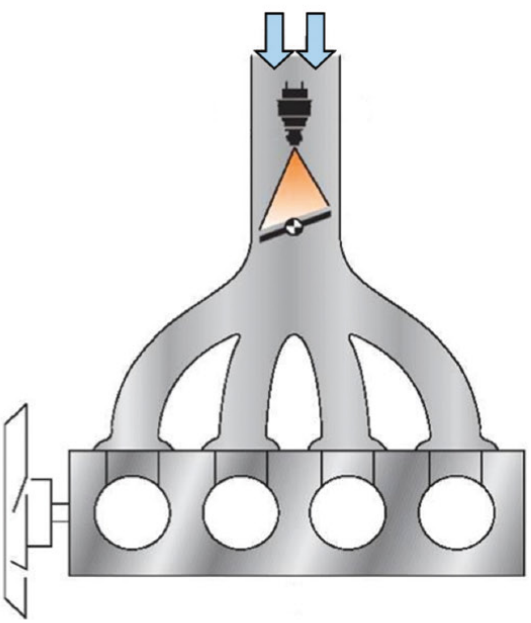


Figura 10.85. *Disposición del inyector en un sistema de inyección electrónica monopunto.*

© Ediciones Paraninfo

Estos sistemas se desarrollaron como sustitutos del carburador, por su mayor capacidad de dosificación del combustible, con el consiguiente ahorro del mismo y disminución de las emisiones contaminantes. Al igual que ocurría con la inyección mecánica, se toma como referencia el sistema de la marca Bosch, siendo su primera evolución la inyección Mono-Jetronic, sobre la cual se desarrollará este apartado.

Su funcionamiento se basa en la información que diversos sensores ofrecen a la unidad de control, en función de las condiciones operativas del motor. Con estos datos, la unidad de control calcula los parámetros de inyección. Los elementos más importantes de este sistema son los representados en la Figura 10.86. El combustible almacenado en el depósito (1) es aspirado por la bomba previa (2) y transferido al acumulador de combustible (3). Desde ahí, la bomba principal (4) envía la gasolina a presión, pasando por el filtro de combustible (5), a la unidad central de inyección, donde se encuentra el inyector (6). El regulador de presión de gasolina (7) se encarga de retornar parte del combustible al acumulador cuando se supera una cierta presión. La información que ofrecen sensores como la sonda de temperatura del aire (8), el potenciómetro de la mariposa de gases (9), la sonda Lambda (10), la sonda de temperatura del líquido refrigerante (11), el módulo de encendido (12) o el actuador de la mariposa con conmutador de ralentí (13), es enviada a la unidad de control (14), que establecerá los correspondientes parámetros de inyección, entre otras acciones. Se suele instalar una resistencia calefactora (15) que se encarga de calentar la mezcla cuando el motor está frío, evitando las condensaciones de la misma en las paredes del colector de admisión.

En la mayoría de aplicaciones, en vez de instalarse una bomba previa y un acumulador, se dispone una única bomba dentro del depósito.

A continuación se explicarán con detalle los elementos más importantes de este sistema.

- **Circuito de aire:** los conductos de admisión, filtro de aire y colector de admisión son similares a los estudiados en otros sistemas. El aire, tras pasar por el filtro, entra por el conducto central del cuerpo de la inyección y se mezclará con el combustible inyectado antes de la mariposa de gases. La homogeneización de la mezcla se hará a su paso por el colector de admisión, pipas de admisión

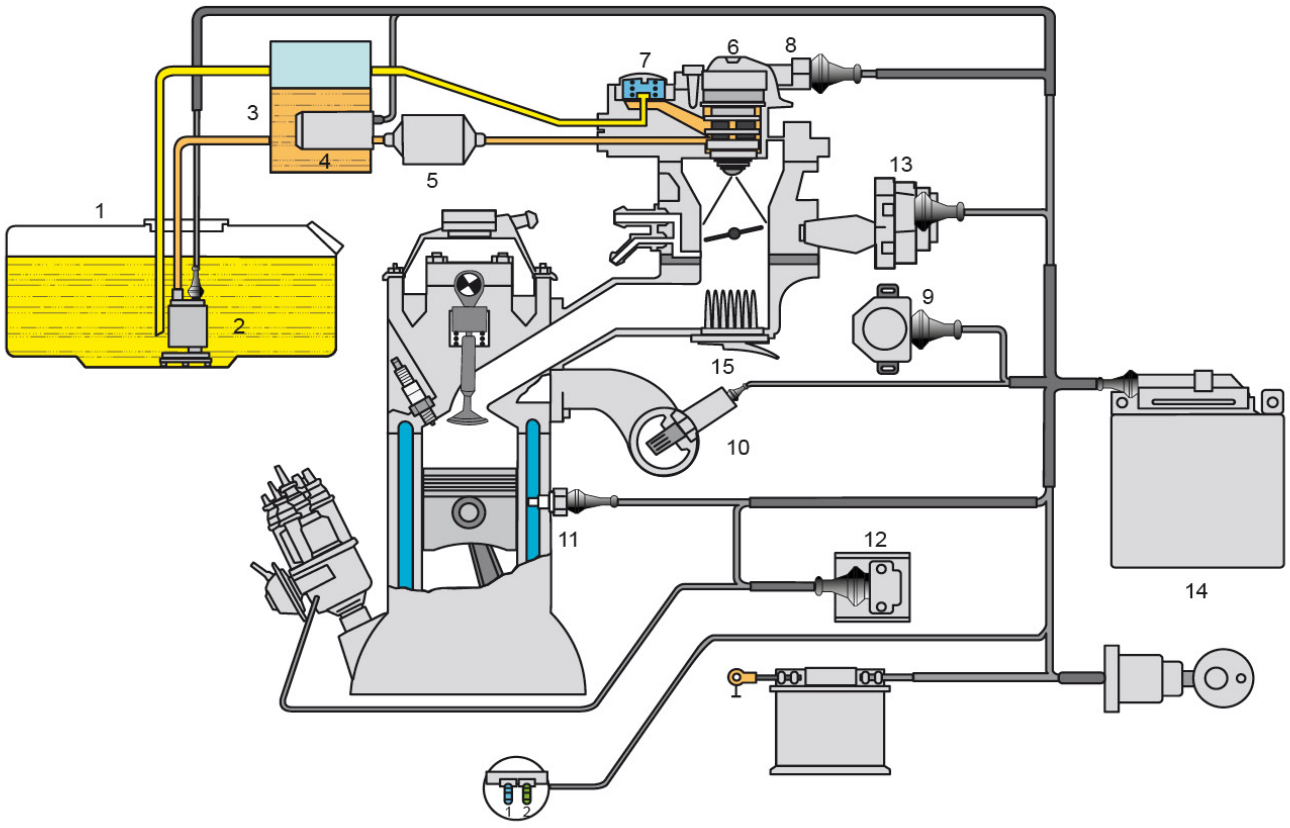


Figura 10.86. *Elementos básicos del sistema de inyección electrónica monopunto.*

© Ediciones Paraninfo

Para calcular el caudal de combustible a inyectar es necesario conocer la masa de aire admitida por el motor en cada momento, que se puede medir con dos métodos:

- **Directos:** emplean medidores que miden la masa de aire directamente. Pueden ser:
  - *De plato sonda:* empleado en la inyección mecánica y electromecánica de gasolina.
  - *De aleta sonda:* empleado en la inyección indirecta electrónica multipunto.
  - *De hilo caliente o película caliente:* empleado en la inyección electrónica indirecta multipunto y electrónica directa. Este tipo de medidor también se conoce como sensor MAF (*Mass Airflow Sensor*).
- **Indirectos:** la unidad de control calcula la masa de aire admitida en función de diversos parámetros. Se emplean en diferentes sistemas de inyección electrónica, ya sea monopunto o multipunto, indirecta o directa. Existen dos métodos principales:
  - *Alfa-N:* el cálculo de la masa de aire se hace en función del ángulo de apertura de la mariposa (α), del régimen de giro del motor (n) y de la temperatura del aire aspirado. Por tanto, los sensores necesarios son:
    - » Potenciómetro de la mariposa, también conocido como sensor TPS (*Throttle Position Sensor*).
    - » Sensor de régimen de giro.
    - » Sonda de temperatura de aire, que es del tipo NTC.
  - *Velocidad-densidad:* la estimación de la masa de aire se realiza dependiendo de la presión absoluta en el colector de admisión, del régimen de giro del motor y de la temperatura del aire aspirado. Los sensores necesarios son los mismos que en el caso anterior, sustituyendo el potenciómetro de la mariposa por el sensor de presión absoluta en el colector de admisión o sensor MAP (*Manifold Absolute Pressure*).

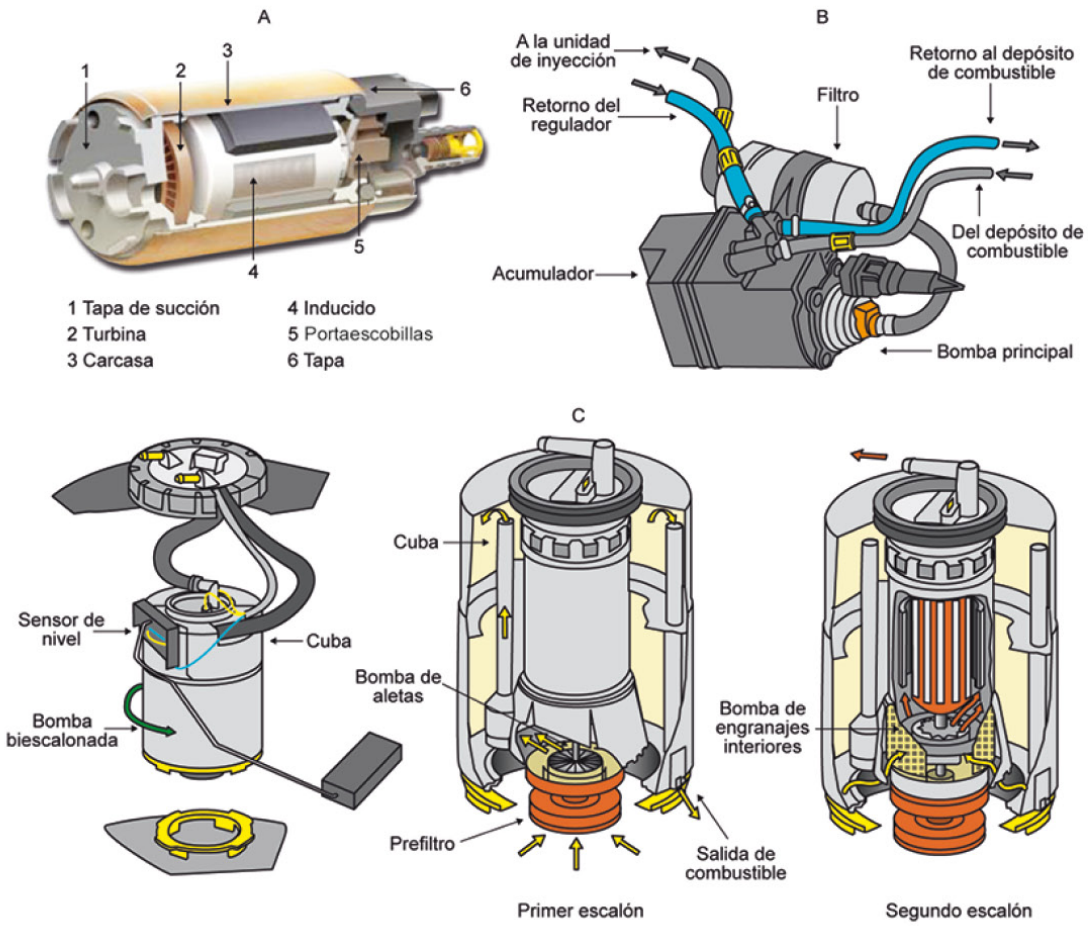


Figura 10.87. *Diferentes configuraciones de la bomba de combustible: única de turbina instalada en el depósito (A), bomba previa y principal con acumulador (B) y biescalonada (C).*

© Ediciones Paraninfo

y en el interior del cilindro. La mariposa se encarga de controlar la carga del motor.

En este circuito cabe destacar la sonda de temperatura de aire, que sirve como parámetro a la unidad de control para determinar la masa de aire admitida, junto con la información de la posición de la mariposa y el régimen de giro del motor. Este sistema de medición se denomina Alfa-N.

- **Circuito de combustible:** los elementos más importantes son:
  - **Bomba de combustible:** existen diferentes configuraciones en la instalación de la bomba de combustible, como muestra la Figura 10.87. La bomba es eléctrica pero en vez de ser de rodillos, suele ser de turbina, como la de la Figura 10.87.A. La disposición más común es en el interior del depósito de combustible, formando parte del conjunto aforador e instalándose una única bomba. La ubicación de la bomba dentro del depósito reduce considerablemente el ruido de la misma durante su funcionamiento y ayuda a su refrigeración. Otra configuración es la de utilizar una bomba previa, instalada dentro del depósito, que transvasa el combustible hasta la principal, instalada fuera y formando un conjunto con el acumulador de combustible, como muestra la Figura 10.87.B. Otro tipo de bomba, que se instala dentro del depósito en conjunto con el aforador, es la llamada biescalonada, mostrada en la Figura 10.87.C. En este caso, un motor eléctrico mueve dos bombas a la vez, formando un sistema en dos etapas o escalones. En la primera etapa, la bomba de aletas aspira el combustible de la parte inferior del depósito, a través del prefiltro, impulsándolo hacia la cuba. La bomba de aletas suministra un caudal de 65 l/h a una presión de 0,25 bar, aproximadamente. Por la salida lateral de combustible retorna al depósito el sobrante del motor, formado por gasolina y burbujas de vapor. En la segunda etapa, la bomba de engranajes interiores impulsa el combustible hacia la unidad de inyección con un caudal de 80 l/h y a una presión de entre 1,2 y 2 bar. El enviar la gasolina a una presión superior a la necesaria evita la formación de burbujas.
  - **Regulador de presión:** este elemento suele ir integrado en el cuerpo de la unidad de inyección y regula la presión de combustible a un valor aproximado de 1 bar. La bomba de combustible suministra gasolina inundando los conductos interiores de la unidad de inyección hasta llegar al regulador de presión. Como puede verse en la Figura 10.88, si la presión de gasolina no supera el tarado del muelle, la válvula mantiene cerrado el retorno. Cuando se supera cierto valor de presión, se abre el retorno y la presión del sistema se mantiene a un nivel constante. La tapa del regulador tiene un orificio de aireación que mantiene la parte superior de la membrana a la presión atmosférica. La parte inferior de la membrana está sometida a la presión de la gasolina. El muelle tiene la función adicional de amortiguar las oscilaciones de presión en el sistema, manteniendo una presión constante en el mismo.

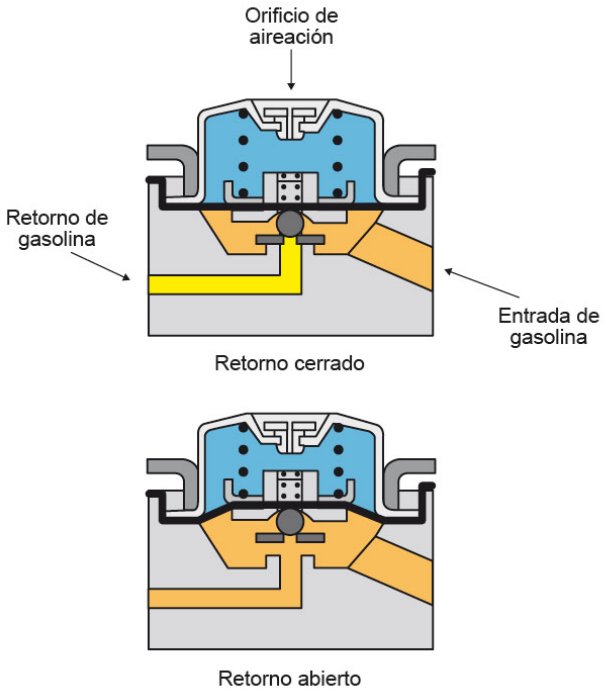


Figura 10.88. *Regulador de presión de combustible.*

Sabías que...

En los sistemas de inyección monopunto, la parte superior de la membrana del regulador de presión está comunicada con la presión atmosférica, a través del conducto de admisión, antes de la mariposa de gases. Esto es así porque el aporte de combustible se hace antes de la mariposa, a presión atmosférica. Consecuentemente, el valor de la presión de gasolina debe permanecer constante. En los sistemas de inyección multipunto, una de las caras de la membrana del regulador de presión está sometida a la presión existente en el colector de admisión, tras la mariposa de gases. Esta regulación es así porque los inyectores están dispuestos después de la mariposa y sometidos a las fluctuaciones de presión en el colector de admisión. Por este motivo, la presión de la gasolina debe adaptarse a los cambios de presión en el colector.

© Ediciones Paraninfo

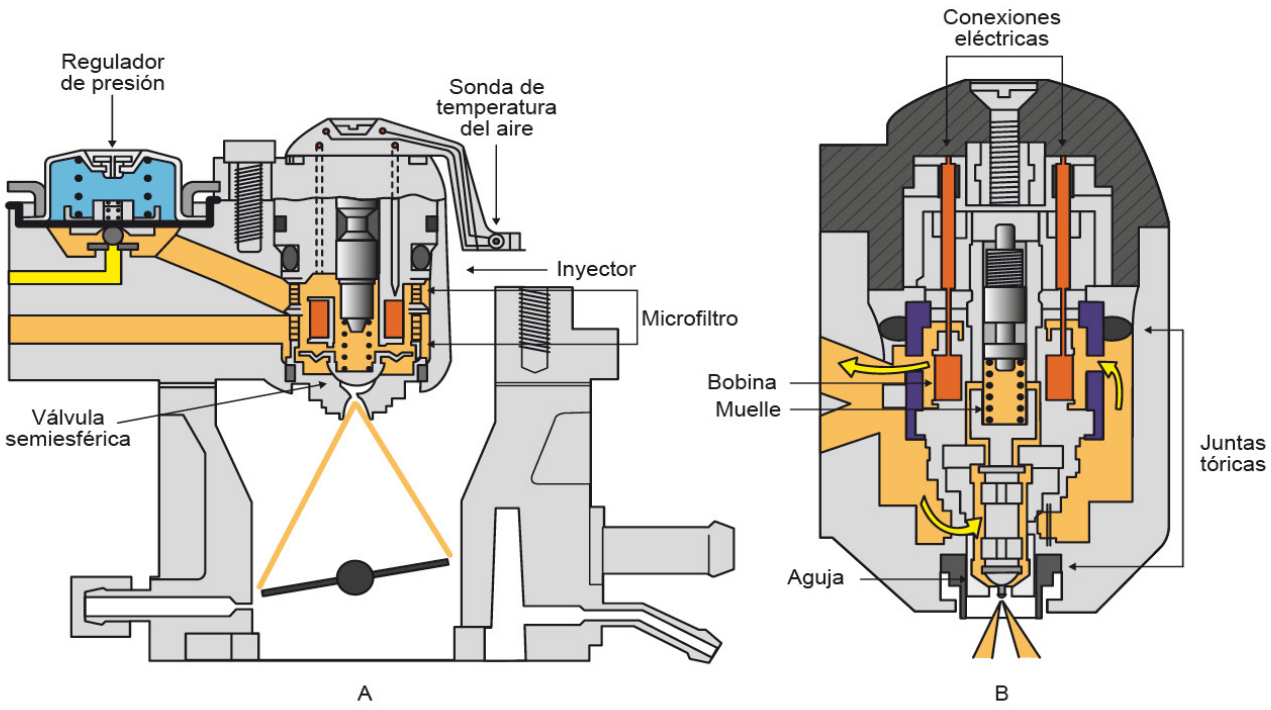


Figura 10.89. *Ubicación del inyector en la unidad central de inyección (A). Detalle del inyector y elementos del mismo (B).*

– **Inyector:** el inyector consiste en una electroválvula que permite el paso de combustible cuando lo ordena la unidad de control. El combustible es introducido antes de la mariposa de gases finamente pulverizado. La explicación del funcionamiento del inyector se realiza por medio de la Figura 10.89. La unidad central de inyección, además de contener diferentes dispositivos, algunos de ellos mostrados en la Figura 10.89.A, lleva incorporado un soporte donde aloja el inyector. En esta figura, la válvula del inyector es semiesférica. En la Figura 10.89.B pueden verse con detalle las partes del inyector, cuya válvula en este caso es de aguja. La instalación del inyector en su alojamiento se hace por medio de juntas tóricas, que aseguran su estanqueidad, estando fijado al cuerpo de la unidad de inyección por una tapa en su parte superior. La gasolina entra por su parte inferior, atraviesa un microfiltro dispuesto en su periferia e inunda el interior del inyector. La gasolina sale por la parte superior en dirección al regulador de presión. A través de las dos conexiones eléctricas recibe, por un lado, un positivo de batería procedente de la llave de contacto o del relé principal. Por otro lado, cuando la unidad de control lo estima necesario, cierra el circuito a masa activando el inyector. Al producirse esto, circula corriente por la bobina, provocando una excitación electromagnética que hace levantar la aguja de su asiento, venciendo la fuerza de su muelle antagonista. En estas circunstancias, como el combustible está a presión, sale pulverizado por la tobera del inyector. Tras acabar el tiempo de inyección calculado, la unidad de control abre el circuito que conectaba el inyector a masa, termina la excitación electromagnética y el muelle fuerza el cierre de la válvula de aguja.

Sabías que...

En el circuito de alimentación de corriente a la bobina del inyector se suele intercalar una resistencia o un cable resistivo. Su objetivo es reducir el número de espiras del bobinado, limitar el flujo de corriente y, en consecuencia, reducir el tiempo de apertura del inyector, inferior a 1 ms.

El inicio de la inyección, así como la duración de la misma, lo determina la unidad de control en función de las condiciones operativas del motor, a través de la información recogida por diversos sensores. Este hecho se explica por medio de la Figura 10.90. Los dos modos operativos principales de la orden de inyección son los siguientes:

» *Síncrono:* en este caso, los impulsos de inyección coinciden con el momento de salto de chispa en las bujías. Consecuentemente, se producirán dos impulsos por cada revolución del motor, como muestra la Figura 10.90.A, si el motor es de cuatro cilindros. Este modo se emplearía

© Ediciones Paraninfo

en el funcionamiento normal del motor, es decir, en condiciones de temperatura de régimen y carga parcial.

» *Asíncrono:* este modo de funcionamiento consiste en producir los impulsos de inyección de forma no sincronizada con el salto de chispa. Pueden ser de menor frecuencia o de mayor frecuencia. Se emplean impulsos de menor frecuencia, como indica la Figura 10.90.B, en el caso de muy poca carga o al ralentí. Para poder funcionar al ralentí habría que tener tiempos de inyección muy cortos, que obligarían a un rápido movimiento del inyector, disminuyendo su vida útil. En vez de esto, se aumenta el tiempo de reposo, distanciando más los impulsos de inyección, produciéndose uno por cada vuelta de cigüeñal. Se emplean impulsos de mayor frecuencia, como representa la Figura 10.90.C, en las aceleraciones, con el fin de evitar el empobrecimiento momentáneo de la mezcla y suavizando el funcionamiento del motor en este transitorio. El objetivo es enriquecer la mezcla aportando más cantidad de gasolina, abriendo el inyector con mayor frecuencia, más de dos veces por cada revolución de motor.

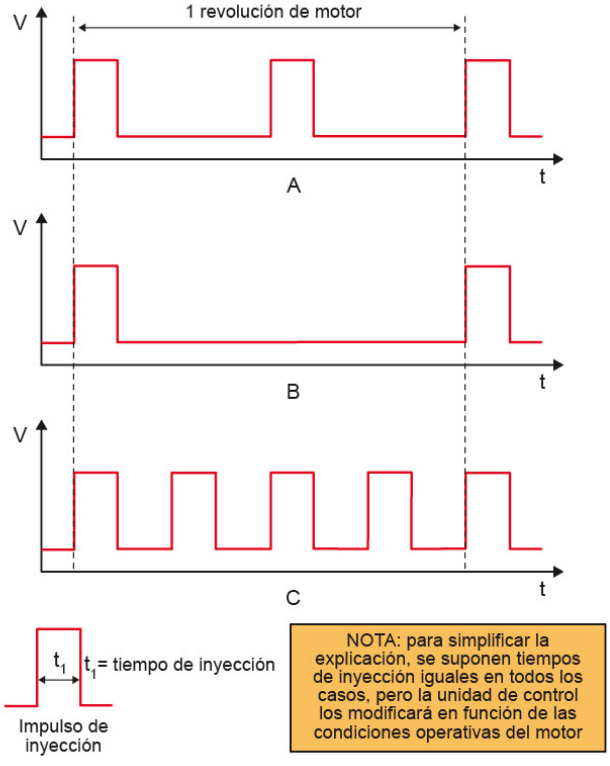


Figura 10.90. *Modos operativos de la orden de inyección suponiendo un motor de cuatro cilindros síncrono con el salto de chispa (A), asíncrono de menor frecuencia al salto de chispa (B) y asíncrono de mayor frecuencia al salto de chispa (C).*

En las deceleraciones y para limitar el régimen máximo de giro del motor, la unidad de control interrumpe la inyección.

Recuerda que...

El modo síncrono sería el equivalente al circuito de marcha normal del carburador, el asíncrono de poca frecuencia al circuito de ralentí y el asíncrono de mayor frecuencia a la bomba de aceleración. El resto de funciones equivalentes son compensadas con la variación del tiempo de inyección. En el sistema de inyección mecánica, la adaptación de la mezcla en diferentes condiciones la hacía el regulador de la fase de calentamiento. En el sistema de inyección electromecánica la hacía el actuador electrohidráulico.

- **Otros elementos:** existen otros dispositivos necesarios para establecer el momento y duración de la inyección o para adaptar la mezcla a diferentes condiciones de funcionamiento. Estos elementos pueden ser sensores o actuadores.

  Los sensores más importantes son los siguientes:

  – **Módulo de encendido:** la señal de régimen de giro del motor puede tomarse del módulo de encendido. Esta información es necesaria para calcular el tiempo básico de inyección y para la posición del estabilizador de ralentí.

  – **Sonda de temperatura del aire:** consiste en una resistencia NTC que informa de la temperatura del aire a la unidad de control, que estima la densidad del mismo. Cuando la densidad del aire es alta (temperatura baja), hay que aportar mayor cantidad de combustible para mantener el dosado correcto. Cuando la densidad del aire es baja (temperatura alta), habrá que reducir la aportación de combustible.

  – **Potenciómetro de la mariposa de gases:** este elemento es arrastrado por el eje de la mariposa de gases, que, en su movimiento, desplaza unos contactos deslizantes sobre la pista de un potenciómetro. Así, la unidad de control monitoriza en todo momento la posición angular de la mariposa. Esta información es muy importante para calcular el tiempo básico de inyección, por lo que la precisión de este dispositivo es muy elevada. La Figura 10.91 muestra un ejemplo de funcionamiento de este elemento, ya que puede tener configuraciones distintas dependiendo del modelo. Está formado por una pista de resistencia, alimentada entre sus terminales 1 y 5 con una tensión constante de 5 V. La pista de contacto A informa a la unidad de control de la posición de la mariposa en los primeros 24° de apertura. De esta forma, entre el terminal negativo (1) y el de información de esta pista (2), se obtendrá un valor de 0,2 V con la mariposa cerrada a 5 V cuando se abre 24°. La pista de contacto B informa de la posición de la mariposa entre sus 18° y la máxima

© Ediciones Paraninfo

apertura. El terminal de información hacia la unidad de control de esta pista es el 4. Como muestra la gráfica de la figura, cuando la mariposa abre entre 18 y 24°, las pistas de contacto A y B ofrecen simultáneamente la misma información. Esta circunstancia es aprovechada por la unidad de control para comprobar la sincronización de las dos señales, pudiendo identificar irregularidades de funcionamiento del potenciómetro.

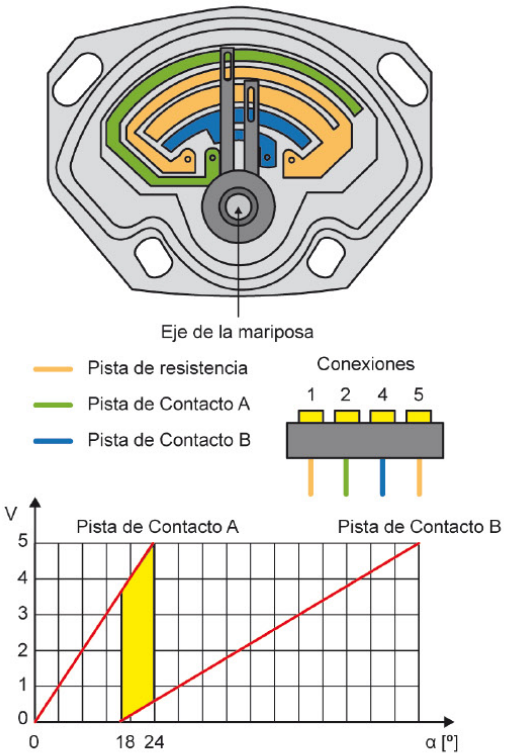


Figura 10.91. *Funcionamiento del potenciómetro de la mariposa de gases.*

Sabías que...

El enriquecimiento en aceleración es interpretado por la unidad de control en función de la velocidad de apertura de la mariposa. El enriquecimiento a plena carga es interpretado cuando el potenciómetro indica una apertura superior a 70°.

Recuerda que...

En el sistema explicado, la forma de calcular la masa de aire admitido es a través del régimen de giro del motor y posición de la mariposa de gases. En otros sistemas puede emplearse cualquiera de los demás métodos explicados anteriormente.

– **Sensor de temperatura del líquido refrigerante:** este sensor contiene una resistencia NTC e informa a la unidad de control de temperatura del líquido refrigerante. En función de este parámetro, calculará el tiempo de inyección en las fases de arranque, postarranque y calentamiento del motor, además de adaptar el régimen de ralentí.

– **Sonda Lambda:** se instala en vehículos con catalizador e informa de la cantidad de la proporción de oxígeno presente en los gases de escape. Con este dato, la unidad de control ajustará la mezcla para tener un dosado estequiométrico ($\lambda = 1$).

Los actuadores más importantes son los que figuran a continuación:

– **Estabilizador de ralentí:** este dispositivo puede ser de tres tipos:

» *Motor eléctrico:* en este caso, un motor eléctrico gobernado por la unidad de control es el encargado de mover la mariposa de gases. Como muestra la Figura 10.92, el motor de corriente continua está unido a un grupo reductor formado por un tornillo sinfín y una corona de dentado helicoidal. El movimiento giratorio de la corona es transformado en un desplazamiento longitudinal del empujador de accionamiento, gracias a una rosca mecanizada en el interior de la corona. El ángulo de mariposa se regula en función del tiempo de activación del motor eléctrico por parte de la unidad de control, pudiendo variar desde 100 ms hasta una alimentación continua. En este último caso, el motor deja de ser alimentado cuando la mariposa alcanza un máximo de 18° de apertura. Para cerrar la mariposa de gases, la unidad de control invierte la polaridad de la alimentación del motor. En el eje del empujador se instala un microinterruptor accionado por la palanca de la mariposa, que se encuentra cerrado cuando la mariposa está en posición de reposo y abre al actuar sobre el acelerador. Cuando está cerrado, la unidad de control toma esta información para empezar el ajuste del ralentí y para realizar el corte de inyección en deceleración, si es preciso.

» *Motor eléctrico paso a paso:* la descripción de este tipo de motores se hace por medio de la Figura 10.93. Este sistema de regulación del ralentí no actúa sobre la mariposa de gases, sino que regula el paso de aire a través de un by-pass. El motor paso a paso está formado por un estator con dos bobinados y un rotor de imanes permanentes al que se le une un eje en forma de tornillo sinfín, en cuyo extremo se monta un obturador cónico. La relación

© Ediciones Paraninfo

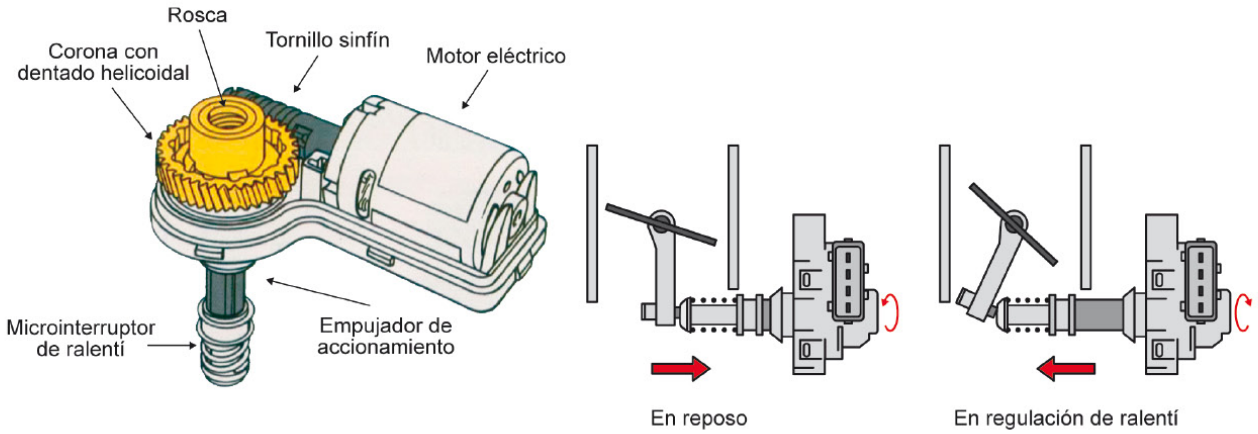


Figura 10.92. *Estabilizador de ralentí con motor eléctrico.*

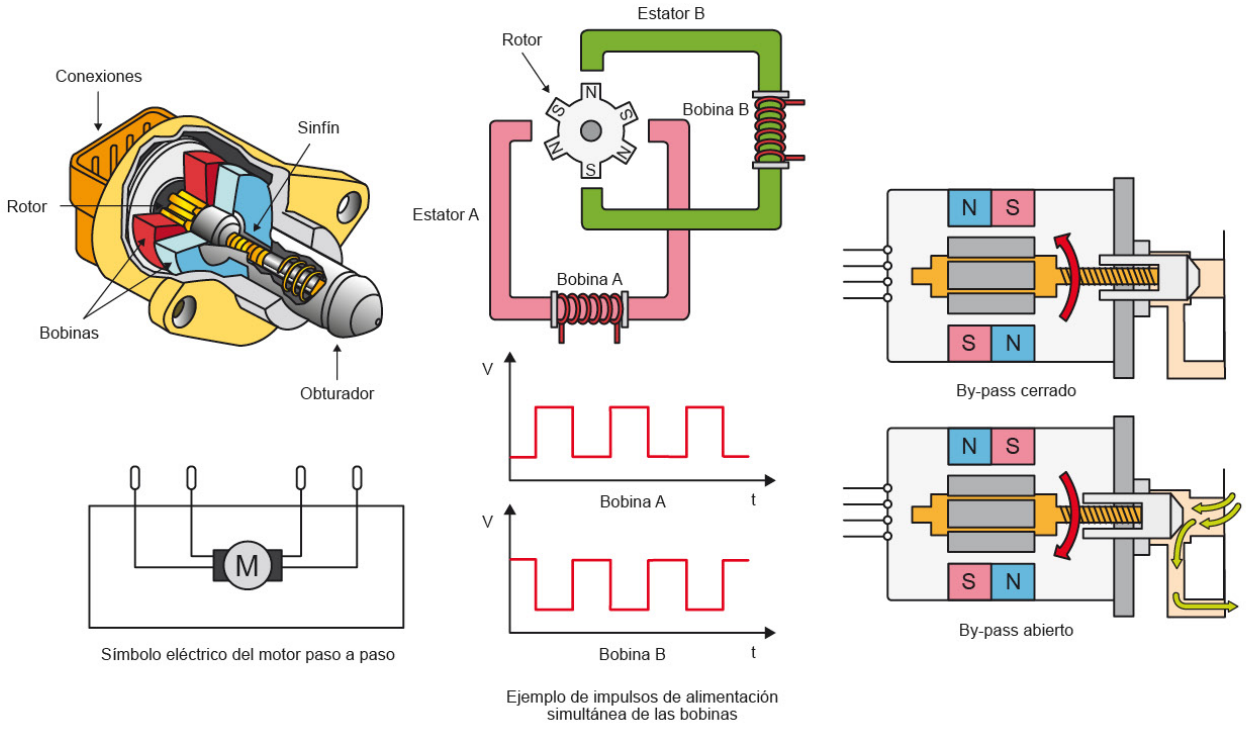


Figura 10.93. *Estabilizador de ralentí con motor paso a paso.*

entre los polos fijos del rotor y los variables del estator, es lo que provoca un giro escalonado del rotor, al poder ser alimentadas las bobinas de forma alternante. Las bobinas crean campos magnéticos que afectan a los polos del rotor. Si las polaridades son opuestas, se provocará un giro del rotor hasta su próxima posición o paso, de ahí el nombre que reciben estos motores. El ángulo girado en cada paso depende del número de polos del imán y de las bobinas. La unidad de control excita las bobinas, cambiando su polaridad constantemente, para hacer girar el rotor en uno u otro sentido. El obturador cónico se desplaza axialmente modificando la sección de paso del by-pass, desde su extremo de cierre a su máxima apertura. A modo de ejemplo, este tipo de motores puede generar más de 200 pasos y, suponiendo un desplazamiento máximo del obturador de 8 mm, significa que en cada paso se desplaza 0,04 mm. Esto da una idea de la precisión de este sistema.

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

El uso de los motores paso a paso está ampliamente extendido en los vehículos, como por ejemplo, para el movimiento de las trampillas de la climatización o el de las agujas del cuadro de instrumentos.

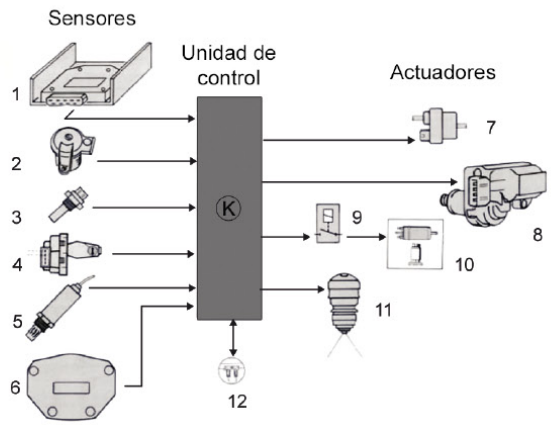
» *Electroválvula gobernada por señal PWM:* este dispositivo es similar al estudiado en la inyección mecánica de gasolina.

Recuerda que...

En la estabilización del ralentí se tienen en cuenta las condiciones operativas del motor y otras cargas auxiliares, como la conexión del aire acondicionado o el funcionamiento de la servodirección.

– **Electroválvula del depósito de carbón activo:** este elemento es controlado por la unidad de control, si el sistema incorpora el reciclaje de los vapores del depósito de combustible.

Como síntesis de lo expuesto anteriormente, la Figura 10.94 muestra un ejemplo del conjunto de sensores y actuadores de un sistema de alimentación Mono-Jetronic. Hay que recordar que el número y tipo de elementos puede variar para otros sistemas.



1. Módulo de encendido.
2. Sonda de temperatura del aire aspirado.
3. Sensor de temperatura del refrigerante.
4. Interruptor del ralentí.
5. Sonda Lambda.
6. Potenciómetro de la mariposa de gases.
7. Válvula del filtro de carbón activo.
8. Estabilizator del ralentí
9. Relé de la bomba de combustible.
10. Bomba o bombas de combustible.
11. Inyector.
12. Toma de diagnosis.

Figura 10.94. *Ejemplo del conjunto de sensores y actuadores de un sistema Mono-Jetronic.*

A modo de ejemplo, la Figura 10.95 muestra una unidad de inyección monopunto real. Cabe destacar el medidor de la masa de aire, que es de hilo caliente, entrando parte del aire admitido en paralelo con el conducto principal a través de un orificio, para su medición. Los conductos de entrada y salida de agua se emplean para calentar el cuerpo de la mariposa de gases. Esta unidad incorpora un sistema de ralentí acelerado en frío, por medio de una cápsula termostática. Esta cápsula está en contacto con el líquido refrigerante, a través de uno de los conductos nombrados anteriormente. Cuando el motor va aumentando su temperatura, la cera de la cápsula se dilata y empuja un vástago, que a su vez mueve una leva que posiciona el tope de la mariposa de forma que esta disminuye su apertura. El estabilizador de ralentí es gobernado por la unidad de control a través de una señal PWM. Por otro lado, se dispone de una electroválvula que abre un by-pass de aire para compensar la caída de régimen de ralentí al conectar el compresor del aire acondicionado. El potenciómetro de la mariposa es de tres terminales. Por último, puede verse el detalle del regulador de presión de gasolina, con tres conductos: el de aireación a presión atmosférica conectado al conducto de admisión antes de la mariposa de gases, el de entrada de combustible a la presión del sistema procedente del interior de la unidad de inyección y el de retorno al depósito.

10.4.2. Evoluciones y otros sistemas

Con el fin de reducir el consumo y las emisiones contaminantes, así como para suavizar el funcionamiento del motor, la evolución más importante de la inyección monopunto es un sistema de gestión capaz de controlar la alimentación y el encendido de forma conjunta. Esta mejora implica, además, la posibilidad de compartir información de diferentes sensores para modificar los parámetros de inyección y de encendido, pudiendo disponer de un mapa de funcionamiento completo del motor, en cualquiera de sus condiciones operativas. Así, la unidad de control tiene una guía más precisa para la gestión del motor. Gracias a todo lo anterior, la unidad de control puede incorporar una función de autodiagnóstico más completa.

Sabías que...

Siguiendo con la nomenclatura de la marca de referencia Bosch, todos los sistemas que incluyen en su denominación la palabra Motronic gestionan la alimentación y el encendido de forma conjunta.

La Figura 10.96 muestra un ejemplo de los sensores y actuadores de un sistema de inyección Mono-Motronic. La constitución y funcionamiento de dichos elementos es

© Ediciones Paraninfo

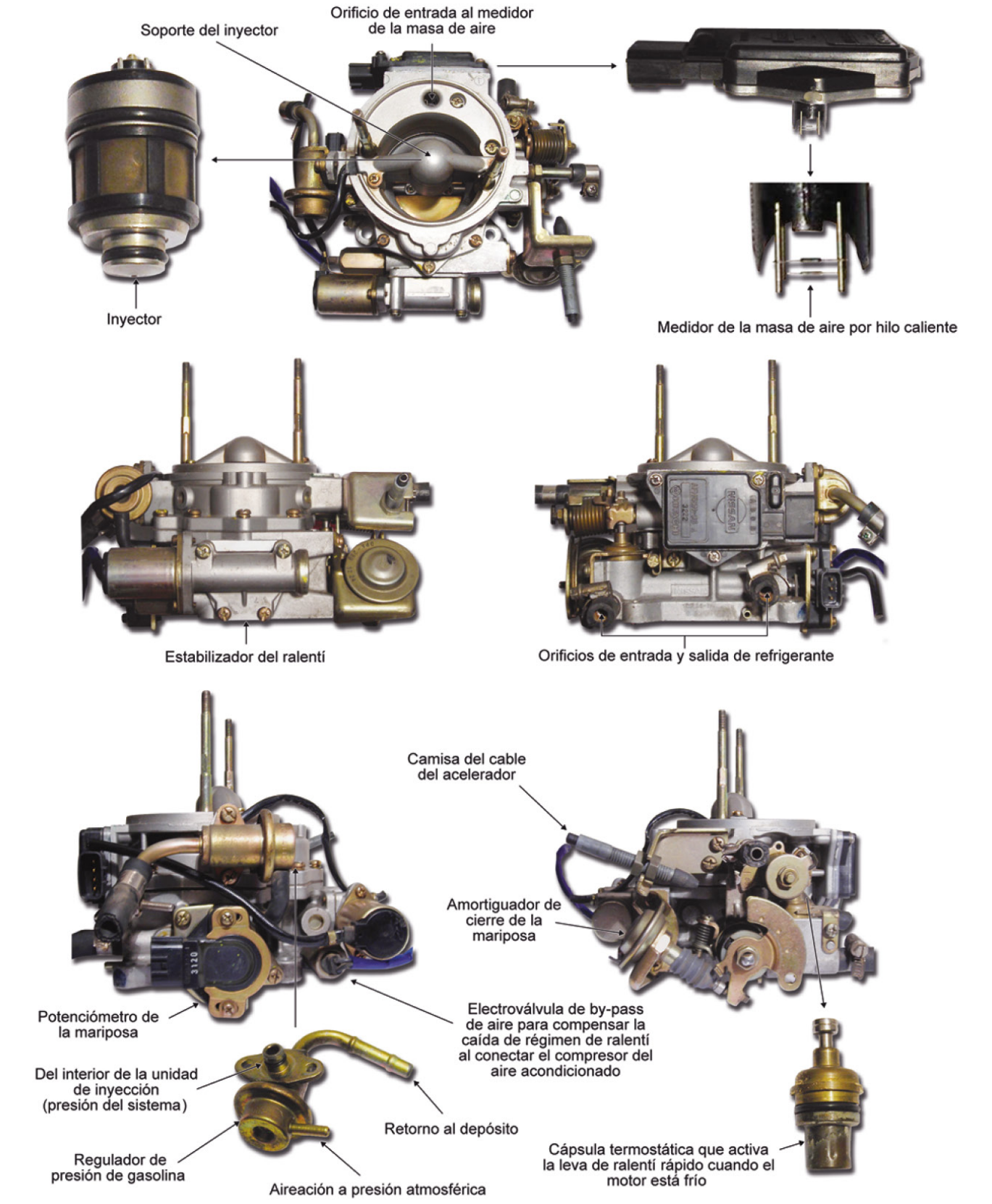
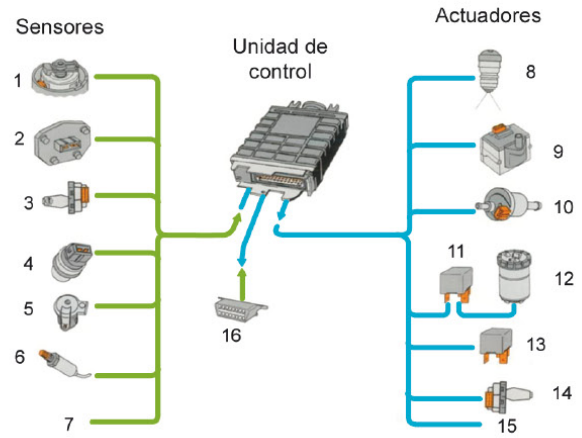


Figura 10.95. *Unidad de inyección monopunto.*

© Ediciones Paraninfo



1. Sensor Hall del distribuidor.
2. Potenciómetro de la mariposa de gases.
3. Interruptor de ralentí.
4. Sensor de temperatura del refrigerante.
5. Sonda de temperatura del aire aspirado.
6. Sonda Lambda.
7. Señales adicionales.
8. Inyector.
9. Bobina de encendido.
10. Válvula del filtro de carbón activo.
11. Relé de la bomba de combustible.
12. Bomba de combustible.
13. Relé del calefactor del colector de admisión.
14. Estabilizador de ralentí.
15. Señales adicionales.
16. Toma de diagnosis.

Figura 10.96. *Ejemplo de sistema de inyección Mono-Motronic.*

similar a los del sistema Mono-Jetronic, aunque la aplicación de las señales es diferente, ya que sirven para gobernar la inyección y el encendido. Es importante destacar el uso de las señales de los siguientes sensores:

- **Sensor Hall del distribuidor:** la información de este dispositivo es empleada para el control del ángulo de encendido y de cierre, el control del tiempo y secuencia de inyección, la estabilización del ralentí, la limitación del régimen de giro máximo y el corte en deceleración.
- **Potenciómetro de la mariposa de gases:** la señal procedente de este sensor se utiliza para calcular el tiempo de inyección y el ángulo de encendido. Además, sirve para determinar el enriquecimiento en aceleración y a plena carga, así como para la estabilización del ralentí.
- **Sensor de temperatura del líquido refrigerante:** este elemento sirve para que la unidad de control determine el tiempo de inyección y el ángulo de avance del encendido. Además, en función de la temperatura del motor se establece el enriquecimiento en las fases de arranque en frío, calentamiento y aceleración. Además, por encima de 60 °C, la unidad de control produce el corte en deceleración y activa la electroválvula del depósito de carbón activo. Por otro lado, por debajo de 60 °C, se activa el relé del calefactor del colector de admisión.
- **Sonda de temperatura del aire aspirado:** la señal procedente de esta sonda se emplea para corregir el tiempo de inyección en función de la temperatura del aire. Por otro lado, puede ser una señal sustitutiva en la fase de arranque en el caso de fallar el sensor de temperatura del líquido refrigerante.
- **Interruptor de ralentí:** la información procedente de este elemento sirve para la estabilización del ralentí, en lo que respecta al sistema de alimentación y al de encendido. Además sirve para activar el corte de inyección en deceleración.

Por otro lado, el sistema Mono-Motronic puede servirse de señales suplementarias, como la de gama de marchas o cambio de marcha si el vehículo tiene cambio automático, la de conexión del aire acondicionado, la de velocidad de desplazamiento del vehículo…

10.4.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones

El mantenimiento básico de los sistemas de inyección monopunto consiste en la sustitución periódica del filtro de aire y del combustible, debiendo consultar la periodicidad y especificaciones del fabricante.

Para identificar las posibles averías que puedan surgir en este sistema, o en cualquier otro del motor, es importante anotar en una hoja los datos relativos al vehículo y los síntomas que presenta. En el caso de un taller de reparación de vehículos, esta información se toma en la recepción y debe ser cuidadosamente anotada según los síntomas explicados por el cliente. Esto sirve como referencia a la hora de empezar las operaciones sobre el vehículo. Un ejemplo de esa hoja de datos es la que aparece en la Figura 10.97.

Tras analizar la hoja anteriormente descrita, el manual de taller del fabricante suele establecer procedimientos de diagnosis para cada síntoma del motor, que sirven como guía para encontrar la avería y repararla. La Figura 10.98 muestra un ejemplo.

Sabías que...

En algunos manuales de reparación del fabricante, los procedimientos de diagnóstico se explican con equipo de diagnosis y sin equipo de diagnosis. Esto es así porque la normativa de muchos países obliga a que el vehículo pueda ser reparado con herramientas simples.

Muchas veces, se producen en el motor fallos aleatorios e intermitentes, difícilmente reproducibles. Para tratar de ocasionar estos fallos, se pueden simular. La Tabla 10.3 muestra algunos ejemplos para la simulación de fallos intermitentes.

© Ediciones Paraninfo

TABLA 10.3

Variable	Elemento	Objetivo	Procedimiento
Dosado	Regulador de presión	Empobrecer	Quitar tubo de vacío y aplicar depresión
		Enriquecer	Quitar tubo de vacío y aplicar presión
Avance de encendido	Sensor de giro	Avanzar	Girar el distribuidor a la derecha
		Retrasar	Girar el distribuidor a la izquierda
Ralentí	Estabilizador de ralentí	Subir	Girar tornillo de ajuste a la izquierda
		Bajar	Girar tornillo de ajuste a la derecha
Temperatura	Unidad de control	Enfriar	Con un atomizador de congelación
		Calentar	Con un secador (no excesivamente)
Humedad	Piezas eléctricas	Humedecer	Humedecer (no mojar directamente)

Nombre del cliente Sr./Sra.		Modelo y año	Número de identificación del vehículo
Motor Nº		Caja de cambios	Kilometraje
Fecha del incidente		Fecha de fabricación	Fecha de servicio
Síntomas	□ Puesta en marcha	□ Imposible de poner en marcha □ Sin combustión □ Combustión parcial □ Combustión parcial afectada por la posición de la mariposa □ Combutión parcial NO afectada por la posición de la mariposa □ Es posible pero cuesta poner en marcha el motor □ Otros [ ]	
	□ Ralentí	□ Sin ralentí acelerado □ Inestable □ Ralentí elevado □ Ralentí bajo □ Otros [ ]	
	□ Gobernabilidad	□ Inestable □ Acelerada □ Explosiones □ Falta de potencia □ Detonaciones en la admisión □ Detonaciones en el escape □ Otros [ ]	
	□ El motor se cala	□ En el momento del inicio □ Durante el ralentí □ Durante la aceleración □ Durante la desaceleración □ Justo después de pararse □ Durante la carga	
Aparición del incidente		□ Justo después de la entrega □ Recientemente □ Por la mañana □ Por la noche □ Durante el día	
Frecuencia		□ Siempre □ Bajo ciertas condiciones □ A veces	
Condiciones	Climatológicas	□ No afecta	
	Tiempo	□ Bueno □ Lloviendo □ Nieve □ Otros [ ]	
	Temperatura	□ Calor □ Cálido □ Fresco □ Frío □ Húmedo °C	
Condiciones del motor		□ Total □ Durante el calentamiento □ Después de calentar Revoluciones del motor 0 2,000 4,000 6,000 8,000 rpm	
Condiciones de carretera		□ En la ciudad □ En autopista □ Carretera □ Fuera de la carretera (subidas/bajadas)	
Condiciones de conducción		□ No afecta □ Durante el arranque □ Durante el ralentí □ En la autopista □ Durante la aceleración □ Durante la velocidad crucero □ Durante la desaceleración □ Mientras se gira (dcha./izq.) Velocidad del vehículo 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 Km/h	
Indicador del mal funcionamiento		□ Encendido □ Apagado	

Figura 10.97. *Ejemplo de hoja de datos.*

© Ediciones Paraninfo

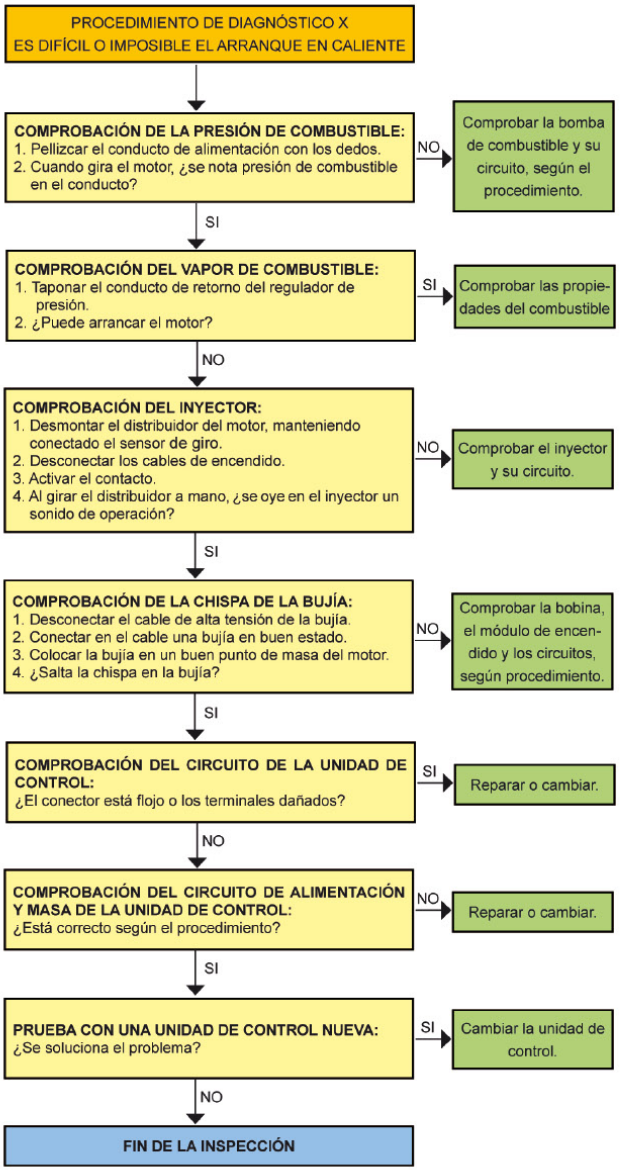


Figura 10.98. *Ejemplo de procedimiento de diagnóstico.*

Recuerda que...

Los procedimientos de diagnosis explicados anteriormente son válidos para cualquier sistema del motor.

Algunos sistemas incorporan un procedimiento de autodiagnóstico de averías por código de destellos, ya sea a través de un testigo del cuadro de instrumentos, en un diodo led de la unidad de control o empleando una lámpara de pruebas. A continuación se explica un ejemplo de este procedimiento, apoyándose en la Figura 10.99. En este sistema, el conector de diagnosis está formado por dos terminales, uno que es de alimentación (1) y otro que es el de código de destellos, conectado a la unidad de control (2). La consulta de averías puede hacerse empleando una lámpara de pruebas y con el montaje mostrado en la figura. Con el motor arrancado, se conectan los terminales A y B durante unos segundos. La lámpara de pruebas emite el primer código de destellos. Los códigos se emiten en forma de cuatro grupos de impulsos, como representa esquemáticamente la figura. Entre cada grupo de impulsos se genera una pausa de unos 2,5 segundos. El código se obtiene sumando los impulsos o destellos de cada grupo, de unos 0,5 segundos de duración, hasta tener un número de cuatro cifras. Este proceso está representado simbólicamente en la gráfica. El número representado por este código debe consultarse en el manual del fabricante para identificar el elemento o sistema que está fallando. Cuando aparece el código 0000, significa que ha finalizado la emisión de averías. Tras acabar el diagnóstico, se borra la memoria de averías empleando el equipo adecuado.

Normalmente, la memoria de averías en los sistemas que incorporan autodiagnóstico por código de destellos funciona de la siguiente manera: no se borran con el contacto quitado, se borran al desconectar la batería o extraer la unidad de control y las averías intermitentes se borran automáticamente tras una serie de arranques.

Una vez explicados algunos procedimientos de diagnóstico, a continuación se van a desarrollar las comprobaciones más importantes en los sistemas de inyección monopunto, tomando como referencia el sistema Mono-Motronic, por ser el más completo. Hay que decir que en cualquier caso habrá que consultar el manual del fabricante para estudiar las peculiaridades de cada sistema.

- **Comprobaciones en el circuito de aire:** muchas de las disfunciones en los motores son debidas a tomas de aire en los conductos de admisión. Deberá comprobarse la estanqueidad de este circuito antes de proceder con otras operaciones más complejas.
- **Comprobaciones en el circuito de alimentación:**
  - **Comprobación de la presión de alimentación:** para realizar esta operación hay que instalar un manómetro en el conducto de alimentación, entre la salida del filtro de combustible y la entrada a la unidad de inyección, como muestra la Figura 10.100. Posteriormente, se puentean los terminales 30 y 87 de la base del relé de la bomba de combustible. En el manómetro debe leerse un valor comprendido entre 0,8 y 1,2 bar. Puede ocurrir que:
    - » *La presión sea inferior a 0,8 bar:* en este caso, puede que la bomba esté averiada. Para comprobarla se hacen dos operaciones. Por un lado se pellizca el retorno del regulador de presión de gasolina, como indica la

© Ediciones Paraninfo

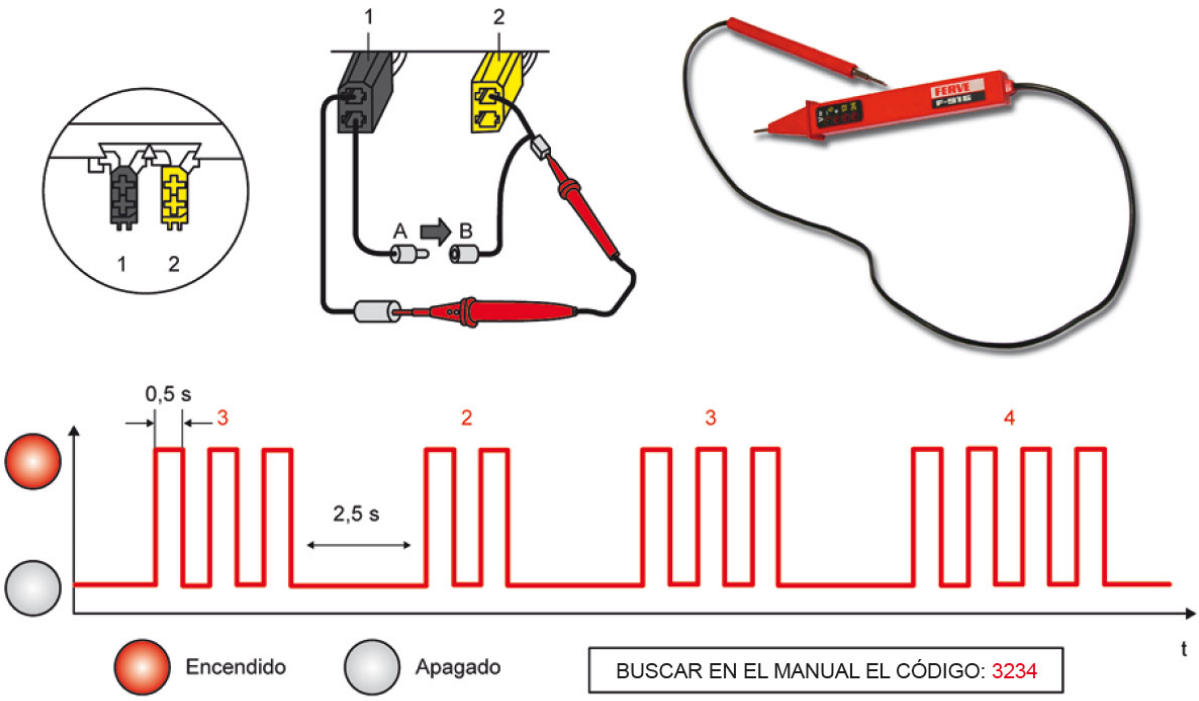


Figura 10.99. *Ejemplo de procedimiento de autodiagnóstico por código de destellos.*

Figura 10.101, debiendo tenerse en el manómetro una lectura superior a 3 bar. Por otro lado, se comprueba la alimentación de la bomba, a la que le debe llegar tensión de batería. Si lo anterior está correcto, la avería es del regulador de presión de gasolina.

» *La presión sea superior a 1,2 bar:* esta anomalía puede ser debida a la obstrucción del conducto de retorno del regulador de presión. Si se comprueba que está en buen estado, el problema es del regulador de presión de gasolina.

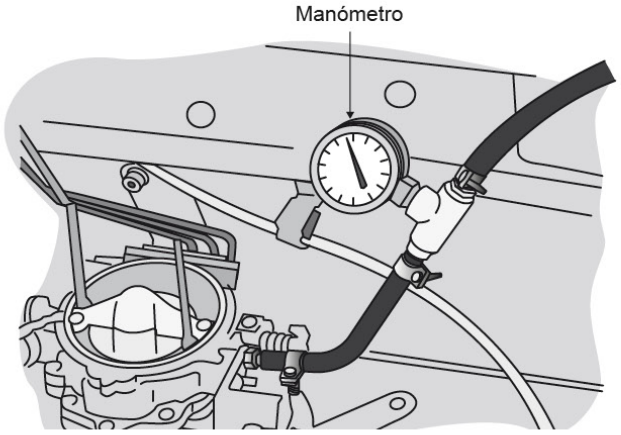


Figura 10.100. *Instalación del manómetro para la comprobación de la presión de alimentación.*

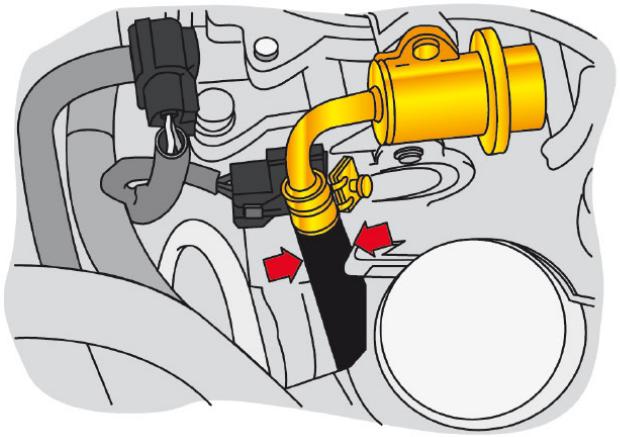


Figura 10.101. *Obstrucción del conducto de retorno del regulador de presión de gasolina mediante pellizcado.*

– **Comprobación de la presión de retención:** con el montaje anterior, se desconecta el puente de la base del relé de la bomba y la presión debe caer a 0,5 bar, manteniéndose este valor durante al menos 10 minutos. Si la presión desciende, deberá comprobarse la estanqueidad de los conductos, observando fugas. Si la fuga se produce por el regulador de presión, al pellizcar el conducto de retorno, obstruyéndolo, el manómetro debe indicar una presión estable. La fuga también

© Ediciones Paraninfo

puede producirse por el inyector, ya sea por la junta o por su aguja, debiéndose comprobar visualmente.

– **Comprobación del caudal de gasolina:** para hacer esta prueba, se desconecta el conducto de entrada de combustible a la unidad de inyección y se introduce en una probeta graduada. Puenteando el relé de la bomba, se le hace funcionar durante 1 minuto. En la probeta debe haberse recogido un volumen de unos 800 ml. Si el volumen obtenido es menor, puede ser que el filtro de combustible esté colmatado o que la alimentación de la bomba no sea correcta. En este último caso, hay que tener en cuenta que por cada voltio que se reste a la tensión de alimentación nominal de la bomba, el caudal disminuye un 10 %. Si tras comprobar esto, todo está correcto, hay que sustituir la bomba.

– **Comprobación del inyector:** las operaciones sobre este elemento consisten en verificar:

» *Estanqueidad:* con el motor parado, se hace funcionar la bomba de combustible, puenteando el relé durante 1 minuto. Durante este tiempo no debe observarse una fuga superior a dos gotas.

» *Pulverización:* la forma de pulverizar el combustible puede comprobarse directamente durante el funcionamiento del inyector. Debe observarse un cono uniforme y sin gotas. Una manera más precisa de observar la pulverización es conectando una pistola estroboscópica, de la misma forma que se hacía para ajustar el avance del encendido, apuntando la lámpara hacia la salida del inyector. Si la pulverización no es correcta, deberá limpiarse el inyector y volver a comprobar.

Sabías que...

Es bastante usual la limpieza de inyectores por ultrasonidos. El inyector se introduce en una cubeta llena de un líquido limpiador. Esta cubeta es capaz de vibrar a una frecuencia ultrasónica que separa las partículas adheridas al inyector.

- **Comprobaciones en el circuito eléctrico:** para explicar las operaciones en este circuito se va a suponer que la avería es que el motor no arranca. A modo de referencia, debe aplicarse la siguiente secuencia:

– Comprobar el salto de chispa en las bujías y si el inyector recibe impulsos de la unidad de control, observando si inyecta combustible.

– Verificar el tiempo de inyección con un osciloscopio. Si el tiempo de inyección es demasiado corto, el motor no arranca, pudiéndose deber a una avería en la unidad de control. Si el tiempo de inyección es demasiado largo, puede ser porque el sensor de temperatura esté defectuoso. En cualquier caso, la resistencia del bobinado del inyector, entre sus terminales de alimentación, ha de ser de 1,5 a 3 Ω. Si no existe tiempo de inyección, comprobado con el osciloscopio o con una lámpara de pruebas en paralelo con el inyector, puede ser porque a la unidad de control no le llegue alimentación o la señal de régimen de giro. Esta avería se descarta si al principio se observó salto de chispa en las bujías. La falta de tiempo de inyección puede ser causada porque al inyector no le llegue alimentación de batería, debiéndose comprobar la continuidad de este circuito. También puede ocurrir por falta de continuidad entre el terminal negativo del inyector y su conexión a masa en la unidad de control, aunque en este punto hay que tener en cuenta si el circuito incorpora resistencias adicionales para limitar la corriente. Si tras estas comprobaciones todo está correcto, puede que haya que sustituir la unidad de control.

– Revisar el relé de la bomba, observando si le llega alimentación procedente de la unidad de control y, si es así, comprobar que la temporización es correcta.

- **Comprobaciones de otros elementos:**

– **Potenciómetro de la mariposa:** si este dispositivo está averiado puede causar falta de potencia, un ralentí inestable o provocar tirones en el funcionamiento del motor. Las comprobaciones dependerán de si es simple o doble:

» *Simple:* se desconecta el conector del potenciómetro, como muestra la Figura 10.102.A, se activa el contacto, y se mide la tensión procedente de la unidad de control entre los terminales de alimentación, debiendo ser de 5 V. Si no llega alimentación, puede ser fallo de la instalación o de la propia unidad de control. Para comprobar el funcionamiento del potenciómetro, se monta el conector, como indica la Figura 10.102.B, y se mide con un voltímetro la tensión entre el terminal de salida o de señal y masa. Los valores de tensión deben oscilar entre 0,2 V, con la mariposa cerrada, y 5 V, con la mariposa abierta. Dada la gran precisión de estos potenciómetros, es recomendable hacer esta última prueba con un osciloscopio, debiéndose producir una curva uniforme y ascendente a medida que se abre la mariposa. Si se produjeran saltos o irregularidades durante la apertura, el potenciómetro debe sustituirse.

© Ediciones Paraninfo

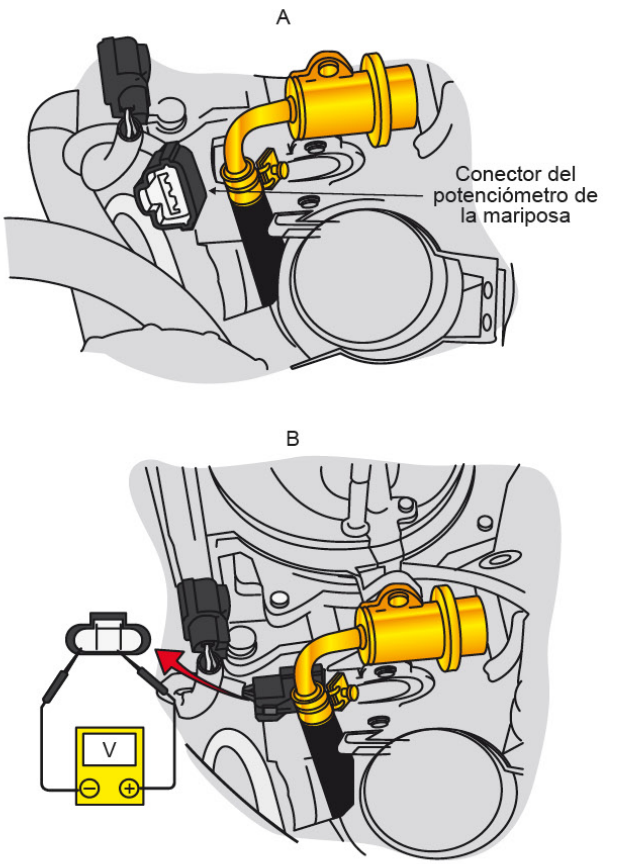


Figura 10.102. *Comprobación del potenciómetro de la mariposa de gases, en el caso de ser simple.*

» *Doble:* hay que hacer las mismas comprobaciones que en el potenciómetro simple, pero teniendo en cuenta las curvas características de ángulo de apertura y voltaje, propias de cada modelo. En este caso sigue siendo recomendable utilizar el osciloscopio. Si hubiera que sustituir el potenciómetro, muchos fabricantes, dado que tiene que estar perfectamente calibrado con la posición de la mariposa, obligan a sustituir el cuerpo inferior completo de la unidad de inyección, que incluye el potenciómetro, estando el conjunto calibrado de fábrica.

– **Estabilizador de ralentí:** en este caso habrá que tener en cuenta el sistema que se utiliza, siendo los más importantes los siguientes:

» *Motor paso a paso:* para comprobar el buen funcionamiento de este elemento, los conductos y el obturador cónico deben estar limpios. La resistencia de sus dos bobinas ha de ser la marcada por el fabricante. Por otro lado, tras extraer el conector y con el contacto dado, debe llegar tensión de batería. Los impulsos de mando procedentes de la unidad de control se pueden verificar con un osciloscopio. Si no llegan impulsos, puede que el fallo sea de la unidad de control.

Sabías que...

Es bastante común que en caso de sustituir el motor paso a paso, tras la instalación del nuevo, se siga una secuencia de autoaprendizaje, marcada por la unidad de control.

» *Motor eléctrico:* la primera operación sobre este dispositivo es la comprobación del interruptor de ralentí, siendo necesario retraer el eje del actuador. Para ello, se conecta una pila de 4,5 V entre sus terminales de alimentación. Posteriormente, se mide el valor de resistencia entre los terminales del interruptor, debiéndose obtener un valor de infinito. Después se introduce una galga de 0,5 mm entre el vástago y el tope de mariposa, debiendo haber continuidad entre los terminales anteriores. Si esto no es correcto, el tope tiene posibilidad de reglaje. Por otro lado, la resistencia del bobinado del motor del actuador debe ser de unos 10,5 Ω y su tensión de alimentación la de batería. Si lo anterior no se cumple, puede que la instalación o unidad de control esté defectuosa.

En la mayoría de sistemas, si la información de un sensor no es recibida por la unidad de control, bien por fallo de la instalación eléctrica o bien por fallo del propio sensor, la unidad de control toma unos valores sustitutivos, entrando en un modo de emergencia. De forma orientativa, a continuación se enumeran algunas funciones sustitutivas que puede emplear la unidad de control a falta de señal de los siguientes sensores:

- **Potenciómetro de mariposa:** la unidad de control toma valores del régimen de giro y de la temperatura del líquido refrigerante.
- **Sonda Lambda:** en este caso, la unidad de control establece una relación de mezcla estequiométrica, sin variación de ajuste.
- **Sensor de temperatura del líquido refrigerante:** si falta la señal de temperatura del motor, la unidad de control asigna un valor de 90 °C. Si se desea arrancar el motor a una temperatura inferior a 0 °C, toma información durante un tiempo de la sonda de temperatura del aire aspirado. Transcurrido ese tiempo, establece una temperatura de 90 °C.
- **Sonda de temperatura del aire aspirado:** en caso de fallar la señal, el valor de referencia de la temperatura del aire es de 20 °C.
- **Interruptor de ralentí:** si falla este elemento, la información es tomada por la unidad de control del potenciómetro de mariposa.

© Ediciones Paraninfo

- **Módulo de encendido:** si no llegase señal de régimen de giro a la unidad de control, procedente del módulo de encendido, no hay valor de sustitución y el vehículo no arranca.

Recuerda que...

Los procedimientos de diagnóstico, los códigos de averías, los valores de medición y los modos de emergencia de la unidad de control, varían en función de fabricante, marca, modelo, versión… por lo que siempre habrá que consultar el manual del vehículo objeto de estudio.

10.5. La inyección indirecta electrónica multipunto

10.5.1. Características, componentes y funcionamiento

Los sistemas de inyección indirecta electrónica multipunto disponen de un inyector para cada cilindro, que introduce el combustible antes de la válvula de admisión, como representa la Figura 10.103. A diferencia de la inyección indirecta mecánica, los inyectores se activan de forma eléctrica, siendo su funcionamiento controlado por la unidad de control.

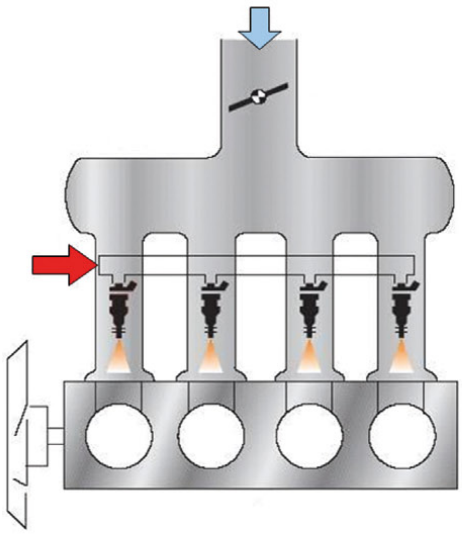


Figura 10.103. *Disposición de los inyectores en un sistema de inyección electrónica indirecta multipunto.*

Los sistemas de inyección mecánica se caracterizaban por realizar una inyección continua. Los sistemas de inyección electrónica multipunto lo hacen de forma intermitente. Dependiendo de la evolución del sistema de gestión del motor, la inyección, además de intermitente, puede ser:

- **Simultánea:** en este caso, los inyectores se activan simultáneamente, abriendo una vez por cada vuelta del cigüeñal, es decir, dos veces por ciclo. El ciclo de inyección comienza un poco antes de que el pistón del cilindro 1 alcance el PMS.
- **Semisecuencial:** en este sistema, la orden de inyección se agrupa por pares de cilindros. Suponiendo un motor de cuatro cilindros, se activarían simultáneamente, por un lado el 1 y el 4, y por otro lado el 2 y el 3. Hay que recordar que en un motor de cuatro cilindros en línea, estos pares de pistones se mueven de forma paralela, aunque realicen fases diferentes del ciclo. Cada grupo de inyectores hace una inyección por cada vuelta de cigüeñal, o dos por cada ciclo. El inicio de la inyección se produce un poco antes de la llegada al PMS de cada par.
- **Secuencial:** la activación de los inyectores en este caso se produce de forma independiente. Cada inyector abre una vez por cada ciclo, un poco antes de la apertura de la válvula de admisión y siguiendo el orden de encendido.

La Figura 10.104 muestra gráficamente estos tres tipos de inyección intermitente, suponiendo un motor de cuatro cilindros con orden de encendido 1-3-4-2.

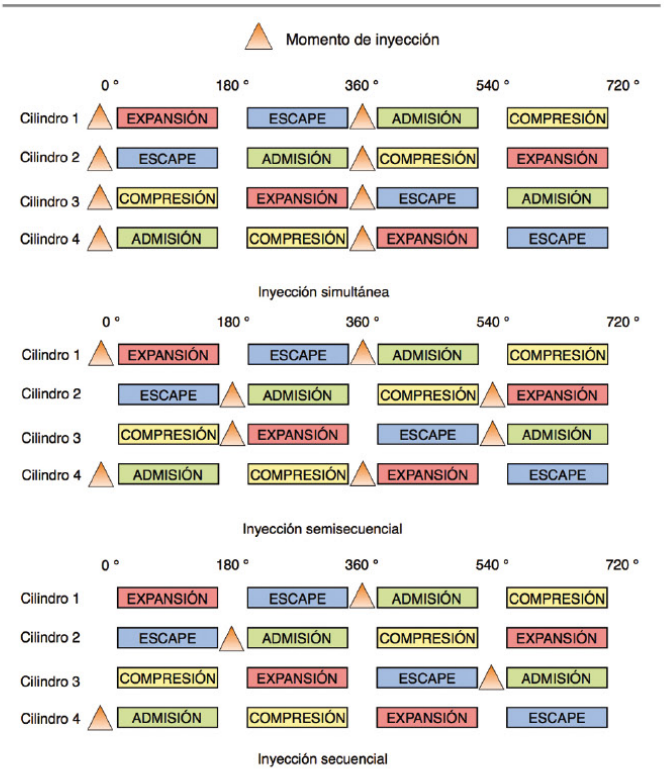
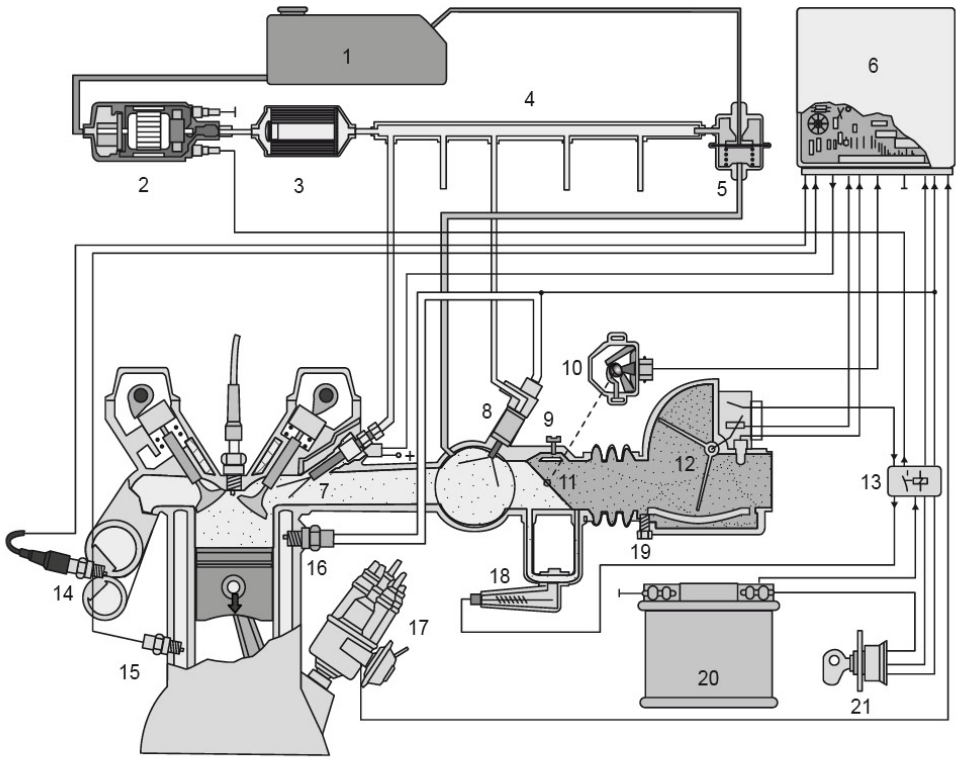


Figura 10.104. *Representación gráfica de los tres tipos de inyección intermitente: simultánea, semisecuencial y secuencial.*

© Ediciones Paraninfo



1. Depósito de combustible.
2. Bomba de combustible.
3. Filtro de combustible.
4. Rampa de inyección.
5. Regulador de presión.
6. Unidad de control.
7. Inyector.
8. Inyector de arranque en frío.
9. Tornillo de ajuste de ralentí.
10. Interruptor de mariposa.
11. Mariposa de gases.
12. Caudalímetro de aleta.
13. Conjunto de relés.
14. Sonda Lambda (opcional).
15. Sensor de temperatura del motor.
16. Interruptor térmico temporizado.
17. Distribuidor de encendido.
18. Válvula de aire adicional.
19. Tornillo de ajuste de CO.
20. Batería.
21. Llave de contacto.

Figura 10.105. *Esquema general del sistema de inyección multipunto L-Jetronic.*

Al igual que en el resto de sistemas de inyección de gasolina, se toma como referencia la marca Bosch, en este caso el sistema L-Jetronic. A continuación se explicará su funcionamiento, detallando los elementos que sean diferentes a otros sistemas ya estudiados.

La Figura 10.105 muestra el esquema general del sistema L-Jetronic, donde se nombran sus elementos.

Los elementos más destacables de este sistema se explican a continuación.

- **Circuito de aire:** la Figura 10.106 muestra el circuito de aire de este sistema. El aire aspirado del exterior pasa por el filtro (1), atraviesa el conducto de admisión y llega al caudalímetro de aleta (2). La mariposa de gases (3) controla la carga del motor. La unidad de control (4) estima el caudal de aire aspirado (Q) gracias a dos informaciones que recibe del caudalímetro. Por un lado, en función del giro (α) de la aleta sonda, se mueve un potenciómetro (5), que informa de su posición. Por otro lado, el sensor de temperatura del aire aspirado (6), envía esta información para que la unidad de control realice un cálculo más preciso.

El elemento característico de este sistema es el caudalímetro de aleta. El flujo de aire aspirado está sometido a un efecto pulsatorio debido a la continua apertura y cierre de las válvulas de admisión. Estas vibraciones del aire podrían afectar a la medición, por lo que a la aleta sonda se le une otra de forma perpendicular, que se desplaza a lo largo de la cámara de amortiguación, como muestra la Figura 1.107. Además, la disposición de las dos aletas hace que las fuerzas debidas al efecto pulsatorio del aire de admisión se apliquen de igual forma en ambas, anulándose sus efectos. Por tanto, gracias a la cámara de amortiguación y al equilibrio de fuerzas en las dos aletas se minimiza el efecto de las vibraciones en la medida.

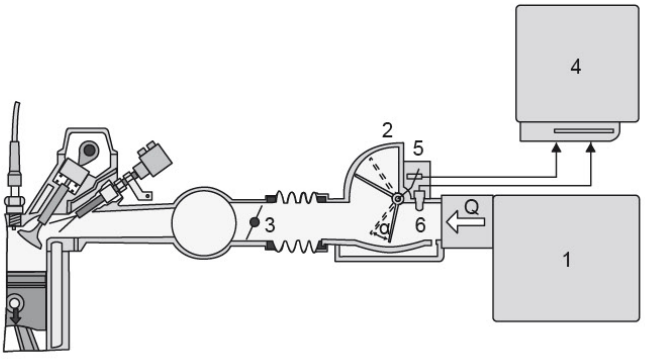


Figura 10.106. *Circuito de aire del sistema L-Jetronic.*

© Ediciones Paraninfo

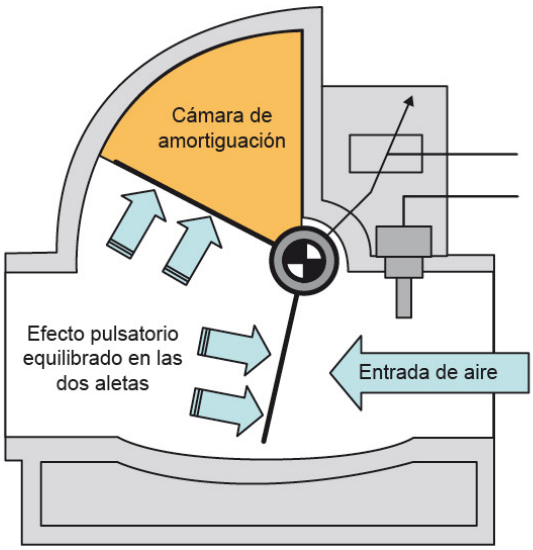


Figura 10.107. *Compensación de los efectos pulsatorios del aire aspirado en el caudalímetro de aleta.*

El funcionamiento del caudalímetro de aleta se explica a través de la Figura 10.108. El aspecto exterior de este dispositivo es el que aparece en la Figura 10.108.A, donde puede apreciarse la ubicación de la sonda de temperatura del aire aspirado y de las conexiones eléctricas, así como la entrada y la salida de aire. El aire aspirado mueve la aleta sonda, venciendo la fuerza de su muelle en espiral antagonista. Además, unido al eje de la aleta está el cursor de un potenciómetro, que informará a la unidad de control de la posición de la aleta en todo momento. La Figura 10.108.B muestra el muelle en espiral y el potenciómetro.

En la Figura 10.108.C se detalla el circuito eléctrico del caudalímetro. La alimentación del relé taquimétrico entra por el terminal 2, atraviesa la resistencia variable con la temperatura (NTC) de la sonda de temperatura del aire, una resistencia fija y sale hacia la unidad de control por el terminal 4. Al circular corriente por ambas resistencias, se produce una caída de tensión que dependerá de la temperatura del aire aspirado. Esa caída de tensión también se aplica a las catorce resistencias conectadas en

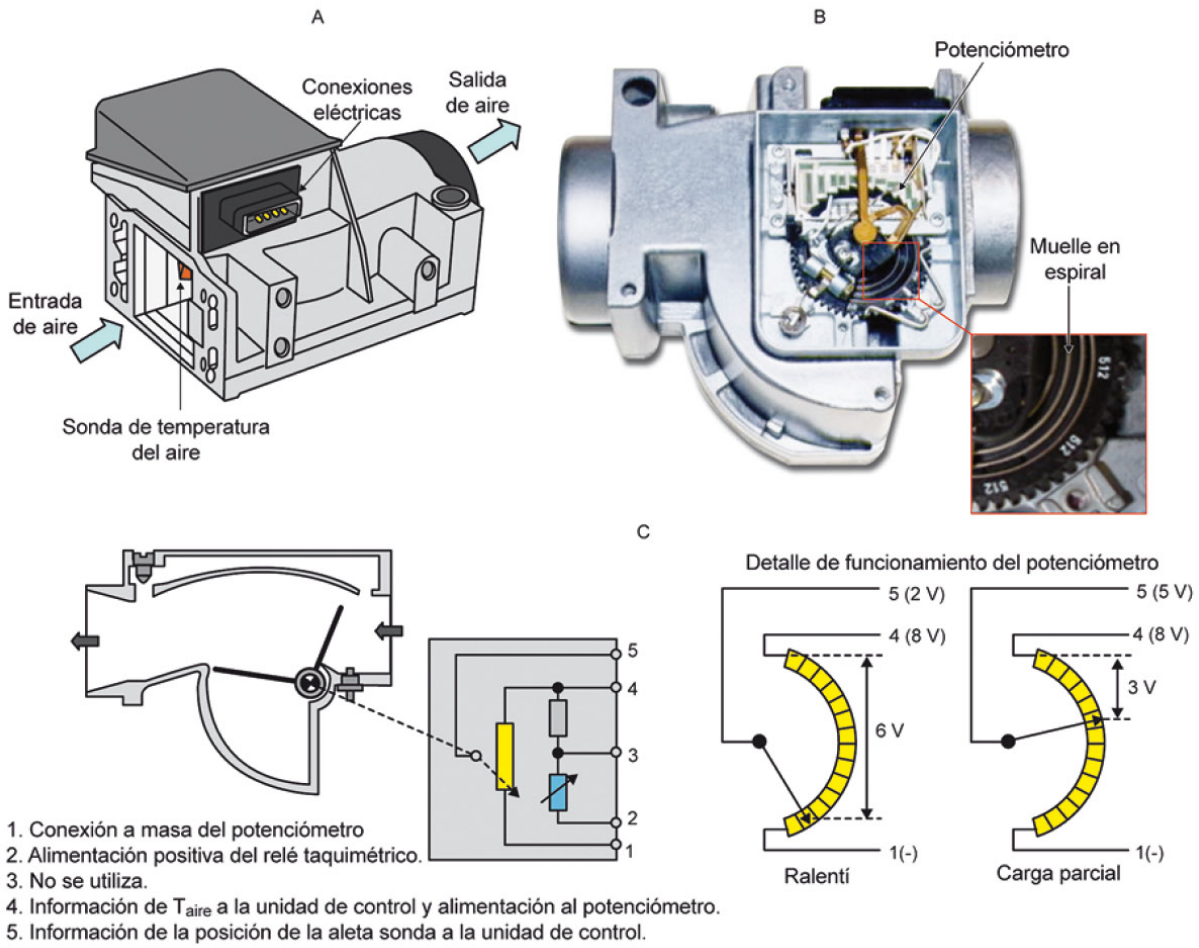


Figura 10.108. *Funcionamiento del caudalímetro de aleta sonda. Aspecto exterior (A). Detalle del muelle en espiral y potenciómetro (B). Circuito eléctrico (C).*

© Ediciones Paraninfo

serie que forman el potenciómetro, cuya función es medir el volumen de aire aspirado. Suponiendo que la caída de tensión generada es de 8 V y que cada una de las catorce resistencias provoca una caída de 0,5 V. Si al régimen de ralentí el cursor está situado en la segunda resistencia, la caída de tensión en el potenciómetro será de $0{,}5\ [V] \cdot 12 = 6$ V. De esta forma, en el terminal 4 hay 8 V y como en el potenciómetro caen 6 V, a la unidad de control, a través del terminal 5, le llega información de $8\ [V] - 6\ [V] = 2$ V. En un caso hipotético de media carga, donde el cursor se sitúa en la novena resistencia, la caída de tensión en el potenciómetro será de $0{,}5\ [V] \cdot 6 = 3$ V. Como en el terminal 4 siguen aplicándose 8 V y en el potenciómetro caen 4,5 V, a la unidad de control le llegan $8\ [V] - 3\ [V] = 5$ V.

Si disminuye la temperatura del aire, aumenta su densidad, por lo que la unidad de control deberá aumentar la cantidad de combustible inyectado.

Sabías que...

Si se abre la mariposa de gases muy rápido en una aceleración, la aleta sonda se mueve bruscamente provocando un enriquecimiento momentáneo de la mezcla. Esto resulta muy útil, actuando de forma similar a la bomba de aceleración del carburador o al sobreimpulso del plato sonda de la inyección mecánica.

El caudalímetro dispone de un by-pass de aire controlado por un tornillo de regulación, que sirve para ajustar la riqueza de mezcla al ralentí. Por este by-pass circula una cantidad de aire que no es medido. Si el tornillo deja un mayor paso de aire, se empobrecerá la mezcla. Si reduce el paso de aire, la enriquecerá. De esta forma se puede regular el nivel de CO emitido al régimen de ralentí, según la normativa anticontaminación. A la altura de la mariposa de gases se encuentra otro by-pass de aire, que sirve para ajustar el régimen de ralentí, de la misma forma que se hacía con la inyección mecánica. Otro elemento que comparte con este sistema de inyección es la válvula de aire adicional para tener un ralentí acelerado cuando el motor está frío. La Figura 10.109 muestra estos elementos adicionales del circuito de aire.

- **Circuito de combustible:** el esquema del circuito de combustible del sistema L-Jetronic es el que muestra la Figura 10.110. El combustible del depósito (1) es aspirado por la bomba eléctrica (2) y enviado a presión, pasando por el filtro (3), a la rampa de inyección (4). La rampa de inyección suministra combustible a los inyectores (5) y al inyector de arranque en frío (6). Además, en un extremo de la misma se instala el regulador de presión de gasolina (7).

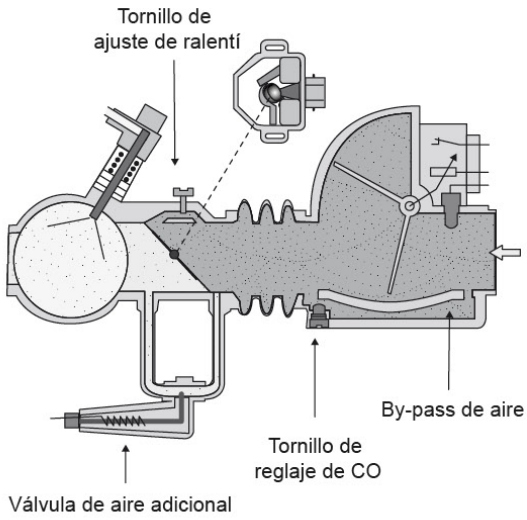


Figura 10.109 *Elementos adicionales del circuito de aire.*

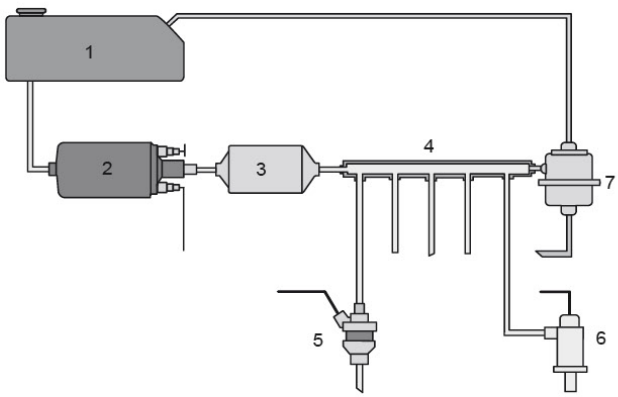


Figura 10.110. *Esquema general del circuito de combustible del sistema L-Jetronic.*

Muchos de los elementos del circuito son ya conocidos de sistemas estudiados anteriormente, por lo que se hará hincapié en los novedosos o en los que funcionen con parámetros distintos:

- **Bomba de combustible:** la bomba es eléctrica y debe suministrar una presión superior a 3 bar, pudiendo alcanzar de forma extraordinaria 7 bar. A partir de 8 bar abre la válvula de seguridad de la bomba limitando la presión. En cuanto al caudal, proporciona unos 2 litros por minuto, o lo que es lo mismo, aproximadamente 120 litros a la hora. En los sistemas más modernos se instala una única bomba dentro del depósito de combustible formando un conjunto con el aforador, el de la Figura 10.111. Esto se hace así para disminuir el ruido de la bomba y mejorar su refrigeración.

© Ediciones Paraninfo

Figura 10.111. *Bomba de combustible eléctrica instalada dentro del depósito formando un conjunto con el aforador.*

– **Rampa de inyección:** su función es la de acumulador de combustible para los inyectores, como muestra la Figura 10.112. Garantiza la misma presión de combustible a la entrada de los inyectores, además de evitar las oscilaciones de presión, dado su gran volumen en proporción a la cantidad de combustible inyectado.

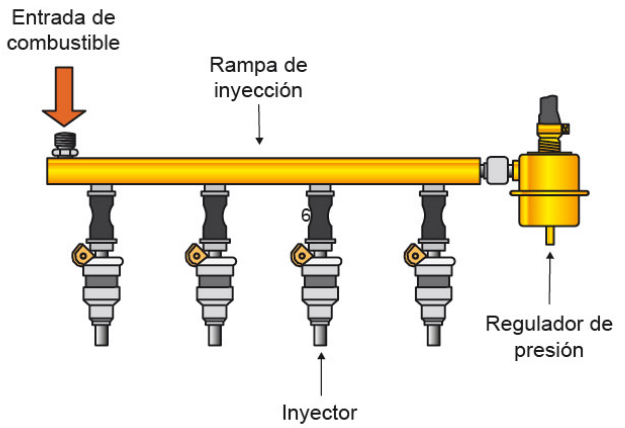


Figura 10.112. *Rampa de inyección.*

– **Regulador de presión:** la constitución y funcionamiento de este elemento se explica por medio de la Figura 10.113. El regulador está formado por una cápsula metálica dividida en dos cámaras por una membrana. La cámara inferior está comunicada con el colector de admisión y en su interior se encuentra un muelle de compresión helicoidal que empuja la membrana, cerrando la válvula el retorno de combustible hacia el depósito. El combustible entra por la cámara superior y ejerce una presión sobre la membrana. Cuando esta presión es superior a la de tarado del muelle, la válvula abre el retorno de combustible hacia el depósito. La depresión existente en el colector de admisión es transmitida a la cámara inferior, restando fuerza al muelle. De esta forma, como al ralentí existe una gran depresión en el colector, esta reduce la presión de tarado del muelle en 0,5 bar. Si la presión de tarado es de 2,5 bar, al ralentí la presión de combustible será de 2 bar. Al abrir la mariposa de gases, disminuye la depresión en el colector, aumentando la presión sobre la membrana. El caso extremo de la situación anterior se produce a plena carga, donde desaparece por completo la depresión y la presión de combustible es la de tarado del muelle, es decir, 2,5 bar. Por tanto, la presión de combustible depende de la carga del motor, variando desde 2 bar a ralentí a 2,5 bar a plena carga.

En el regulador de presión del sistema de inyección multipunto, a diferencia del de la inyección monopunto, la presión de combustible depende de la depresión existente en el colector de admisión, ya que los inyectores introducen el combustible después de la mariposa de gases y hay que tener en cuenta las condiciones en su interior.

– **Inyectores:** la instalación de los inyectores se realiza insertándolos a presión en el colector de admisión, interponiendo entre ambos elementos una junta tórica. Esta hace de aislamiento térmico y amortigua el movimiento del inyector causado por falsas explosiones. Los inyectores se insertan a presión y la rampa evita que se salgan al estar atornillada al colector. Los elementos de los que consta el inyector están detallados en la Figura 10.114. El inyector está formado por un cuerpo metálico en cuyo interior se encuentra un solenoide y la aguja, que permanece cerrada contra su asiento gracias a la acción del muelle. Cuando el solenoide es excitado por la unidad de control, genera un campo magnético que atrae el núcleo de la aguja, levantándola de su asiento aproximadamente 0,1 mm. El combustible entra a presión por la parte superior del inyector, atraviesa un microfiltro y sale pulverizado por el espacio anular que se crea alrededor de la aguja cuando se levanta de su asiento. El tiempo de apertura del inyector oscila entre 2 y 20 ms, dependiendo

© Ediciones Paraninfo

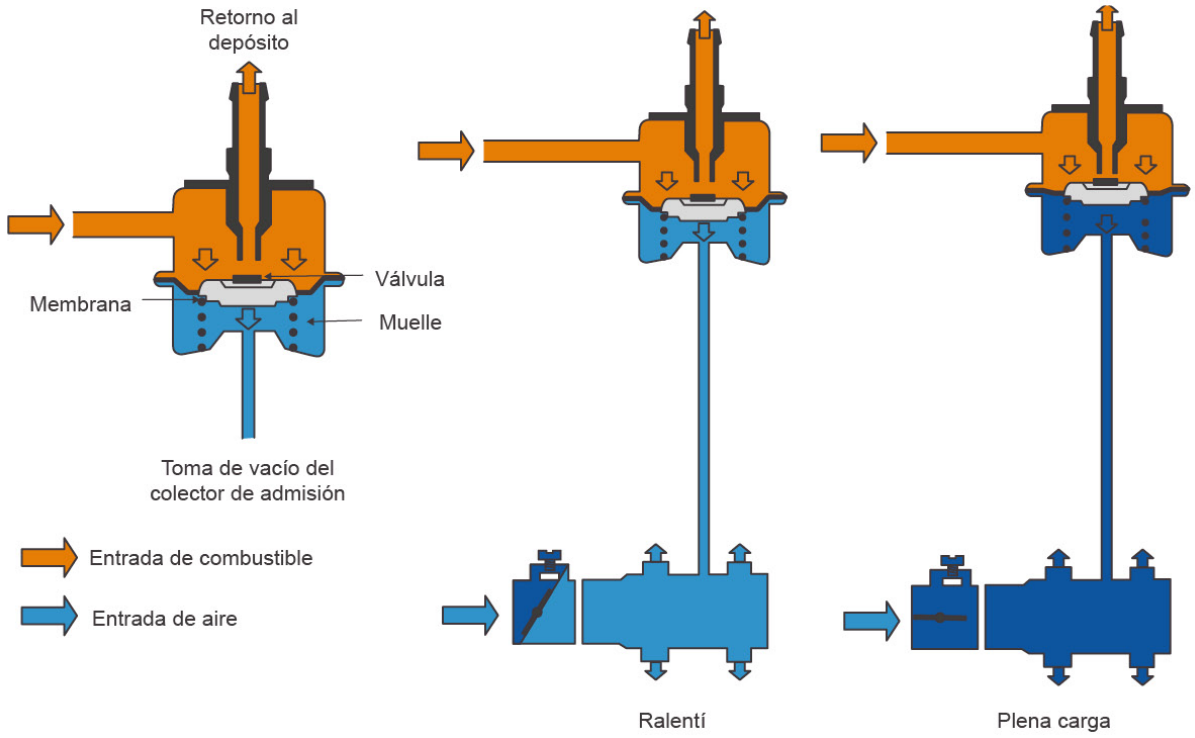


Figura 10.113. *Constitución y funcionamiento del regulador de presión de gasolina.*

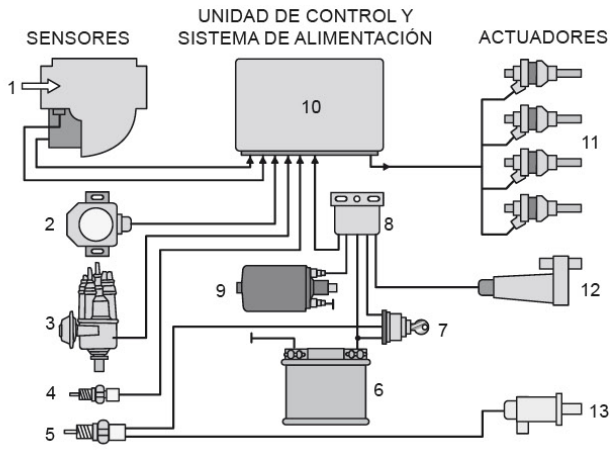
de las condiciones operativas del motor. Los inyectores del sistema L-Jetronic tienen un solenoide de cobre cuya resistencia es de unos 2,4 Ω y son alimentados con una tensión de 3 V.

– **Inyector de arranque en frío:** el sistema de inyección multipunto L-Jetronic conserva el inyector de arranque en frío y su funcionamiento es similar al del sistema K-Jetronic.

Figura 10.114. *Elementos del inyector.*

© Ediciones Paraninfo

- **Otros elementos:** la Figura 10.115 muestra el esquema de los sensores, actuadores y otros elementos, implementados en el sistema L-Jetronic, así como los parámetros necesarios para explicar la adaptación del sistema a las condiciones operativas del motor, que se desarrollará a continuación.



1. Caudalímetro (volumen y temperatura de aire aspirado).
2. Interruptor de la mariposa (carga del motor).
3. Distribuidor (régimen de giro del motor).
4. Sensor de temperatura del motor (temperatura del motor).
5. Interruptor térmico temporizado (temperatura del motor).
6. Batería (tensión de alimentación).
7. Llave de contacto.
8. Relé.
9. Bomba de gasolina.
10. Unidad de control.
11. Inyectores (caudal de combustible inyectado).
12. Válvula de aire adicional (caudal de aire adicional).
13. Inyector de arranque en frío (caudal de combustible adicional).

Figura 10.115. *Sensores, actuadores, otros elementos y parámetros del sistema L-Jetronic.*

La unidad de control recibe información de los sensores, un positivo del relé taquimétrico y el negativo de bobina para reconocer que el motor está en marcha. Sin la señal de encendido interpreta que el motor está parado y no proporciona tiempo de inyección, por lo que no arranca. La unidad de control determina el tiempo de inyección de la forma que se indica en la Figura 10.116.

El tiempo básico de inyección depende del volumen de aire aspirado y del régimen de giro del motor, sin tener en cuenta otras condiciones de funcionamiento del mismo. Si a igualdad de régimen de giro detecta un mayor volumen de aire aspirado, el tiempo básico de inyección aumenta por interpretar una demanda de potencia, como podría ser el caso de la subida de una pendiente. Si por el contrario, manteniendo el régimen de giro se detecta una disminución en el volumen de aire aspirado, el tiempo básico de inyección disminuirá por interpretar una reducción en la demanda de potencia, como sería el caso de la bajada de una pendiente. Si la unidad de control recibe señal de régimen de giro pero no de volumen de aire aspirado, el tiempo básico de inyección se prolonga tanto que el motor se para por exceso de gasolina. El tiempo básico de inyección es modificado en función de las condiciones operativas del motor, de la siguiente forma:

- Si aumenta la temperatura del aire admitido, disminuye el tiempo de inyección para no enriquecer la mezcla, ya que disminuye la cantidad de oxígeno.
- Si el motor está frío, detectado por el sensor de temperatura NTC del líquido refrigerante, aumenta el tiempo de inyección para enriquecer la mezcla y así compensar la condensación del combustible en las paredes del cilindro. A medida que el motor se va calentando, disminuye progresivamente el tiempo de inyección hasta que el motor alcanza unos 75 °C, momento en el que la unidad de control suprime el programa de fase de calentamiento. Si no se recibe señal del sensor de temperatura del líquido refrigerante, la unidad de control interpreta que el motor está a −30 °C y prolonga el tiempo de inyección tanto que el motor se para por exceso de combustible. Cuando el motor está frío, además se mantiene un ralentí acelerado gracias a la válvula de aire adicional, que en el sistema L-Jetronic no está controlada por la unidad de control y funciona de la misma forma que en los sistemas de inyección mecánica.
- En la fase de arranque en frío interviene el inyector de arranque en frío, cuyo funcionamiento es similar al de los sistemas de inyección mecánica.
- La adaptación del tiempo de inyección en función de la carga se puede realizar con la información que proviene del interruptor de mariposa. Cuando la apertura de la mariposa es inferior a 10°, el microinterruptor de este dispositivo informa que el motor está al ralentí. Cuando la apertura de la mariposa es superior a 70°, el otro microinterruptor informa que el motor está a plena carga. Cuando la mariposa de gases se encuentra entre 10 y 70° de apertura, la unidad de control interpreta que el motor está a carga parcial. Gracias a esta información, la unidad de control realiza las siguientes funciones:
  - Ajuste de ralentí, en combinación con el reglaje del tornillo de by-pass del caudalímetro.
  - Ajuste de la mezcla en marcha normal o carga parcial. En este caso, la unidad de control establece una proporción de mezcla estequiométrica ($\lambda = 1$).
  - Enriquecimiento a plena carga, aumentando el tiempo de inyección.
  - Corte de combustible en deceleración, teniendo como objetivo la reducción de consumo y de emisiones contaminantes. Para detectar esta condición, la unidad de

© Ediciones Paraninfo

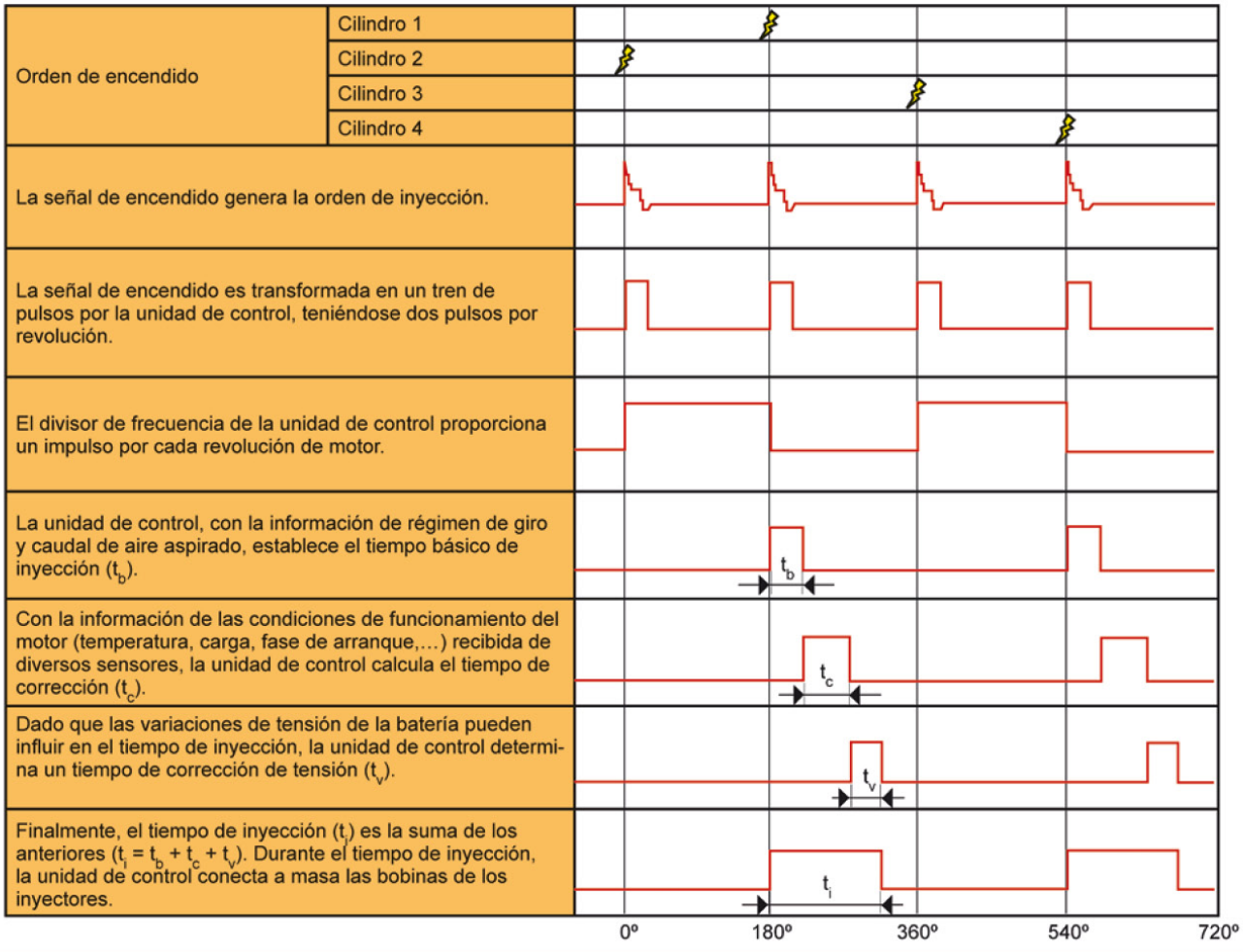


Figura 10.116. *Determinación del tiempo de inyección por la unidad de control.*

control debe ser informada de que la mariposa de gases está cerrada, por medio de su interruptor, y que el motor está girando a más de 1500 rpm, a través de la señal de revoluciones. Además, es necesario que el motor esté a temperatura de régimen. El reestablecimiento de la orden de inyección se realiza cuando el motor alcanza entre 1200 y 1100 rpm.

- La tensión de la batería influye en el tiempo de apertura de los inyectores y, por tanto, en la proporción de mezcla. Por este motivo, la unidad de control compensa el tiempo de inyección dependiendo de la tensión de batería.

10.5.2. Evoluciones y otros sistemas

Las configuraciones que pueden tener los sistemas de inyección multipunto son muy variadas. A continuación se van a exponer las evoluciones más representativas del sistema L-Jetronic, así como sus características principales.

- **Sistema LE-Jetronic y LE2-Jetronic:** en estos sistemas se elimina el inyector de arranque en frío y el interruptor térmico temporizado. La fase de arranque en frío la controla la unidad de control, con la información de temperatura del líquido refrigerante y de la señal de arranque, a través del borne 50. En esta fase se realizan inyecciones dobles para enriquecer la mezcla. Los inyectores pasan a tener un solenoide de latón, cuya resistencia es de 16 Ω, siendo su tensión de alimentación de 12 V.
- **Sistema LU-Jetronic:** es un sistema más refinado que el L-Jetronic, ya que está adaptado a la normativa anticontaminación estadounidense, de ahí la U (USA). Funciona con regulación Lambda y mantiene el inyector de arranque en frío, así como el interruptor térmico temporizado.
- **Sistema LU2-Jetronic:** es una evolución de la LU, que suprime el inyector de arranque en frío y el interruptor térmico temporizado, asumiendo sus funciones la unidad de control, de la misma forma que los sistemas LE y LE2-Jetronic.

© Ediciones Paraninfo

- **Sistema LE3-Jetronic:** en este sistema, la unidad de control se ubica sobre el caudalímetro y es digital, a diferencia de los anteriores sistemas. Se suprime el by-pass de regulación de CO del caudalímetro, por un potenciómetro instalado en la propia unidad de control, al que se accede retirando un tapón de inviolabilidad. La caja de mariposas suele ser de doble cuerpo. En caso de avería, la unidad de control puede adoptar parámetros de sustitución y modos de emergencia.

- **Sistema LH-Jetronic:** en este caso, el régimen de ralentí se regula con un actuador controlado por la unidad de control. El caudalímetro de aleta volumétrico se sustituye por un medidor de la masa de aire de hilo caliente, como el que muestra la Figura 10.117. Este medidor está formado por el tubo de canalización (1), las rejillas protectoras (2), el módulo electrónico (3) y un tubo interior (4). En el tubo interior se encuentra la resistencia de medición de precisión (5), el hilo de platino (6) y la sonda de temperatura de aire (7). Suelen incorporar un tornillo de reglaje de CO (8). Su principio de funcionamiento se basa en el enfriamiento que sufre el hilo de platino (de unas 70 µm de diámetro) al ser atravesado por la masa de aire aspirado. La temperatura del aire de admisión es tomada por la sonda de temperatura del aire. El módulo electrónico controla la intensidad de corriente que circula por el hilo de platino, manteniendo en el mismo una temperatura constante, que suele ser de unos 120 °C superior a la del aire de entrada. El aire aspirado pasa por la sonda de temperatura y posteriormente por el hilo, enfriándolo. En estas circunstancias, el módulo electrónico aumenta la intensidad de corriente que circula por el hilo, recuperando la temperatura inicial. Esta intensidad de corriente atraviesa, además, la resistencia de medición, dando lugar a una caída de tensión que es proporcional a la cantidad de aire que atraviesa el medidor. Dicho aire transporta partículas que ensucian el hilo de platino, distorsionando la medida. Por este motivo, el módulo electrónico incluye un programa de autolimpieza que pone el hilo incandescente durante 1,5 segundos, tras parar el motor, descomponiendo las partículas sólidas adheridas. Para evitar la activación del programa de autolimpieza cada vez que se arranca y para el motor, tiene que darse la condición de que haya funcionado a más de 1500 rpm y que la temperatura del líquido refrigerante sea superior a 60 °C.

Existen otros medidores de la masa de aire de hilo caliente, llamados de by-pass o de caudal en derivación, como el de la Figura 10.118. Este medidor tiene un conducto de paso de aire principal (1) y un conducto (2) dispuesto de forma paralela, en cuyo interior se aloja el hilo de platino (3). El aire aspirado atraviesa el conducto principal y parte de ese aire circula por el conducto de by-pass, volviéndose a incorporar a la corriente principal posteriormente. De esta forma, solo es medida una pequeña parte del aire aspirado, proporcional a la masa total del mismo. Por este motivo, la unidad de control calcula la masa de aire por unidad de tiempo basándose en parámetros de proporcionalidad. Como por el filamento de platino circula poca cantidad de aire, no se depositan tantas partículas, por lo que en la mayoría de los casos el módulo electrónico no incorpora un programa de autolimpieza.

Recuerda que...

Los medidores de la masa de aire por hilo caliente son conocidos también con el nombre de sensor MAF (*Mass Air Flow*).

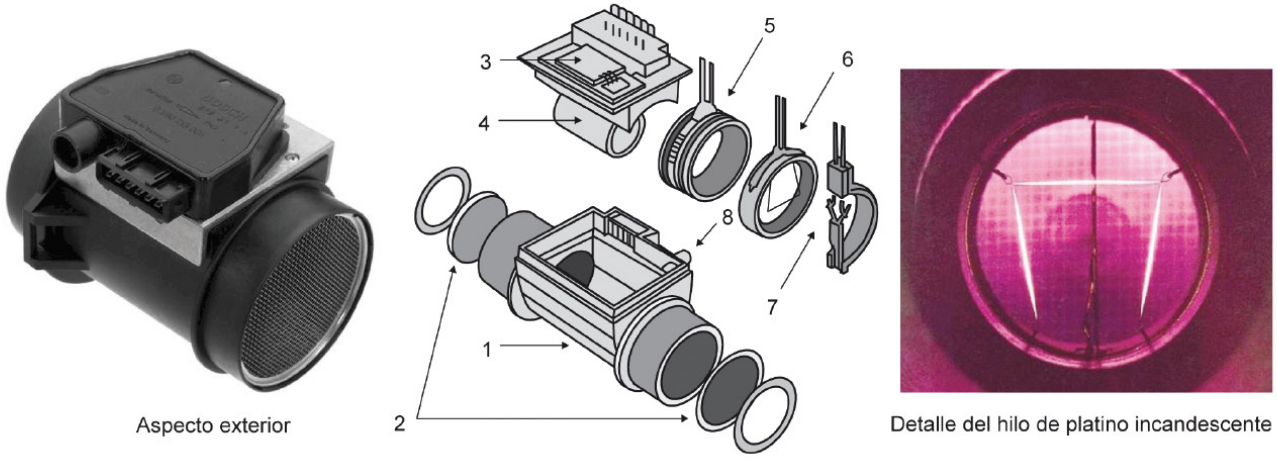


Figura 10.117. *Caudalímetro de hilo caliente.*

© Ediciones Paraninfo

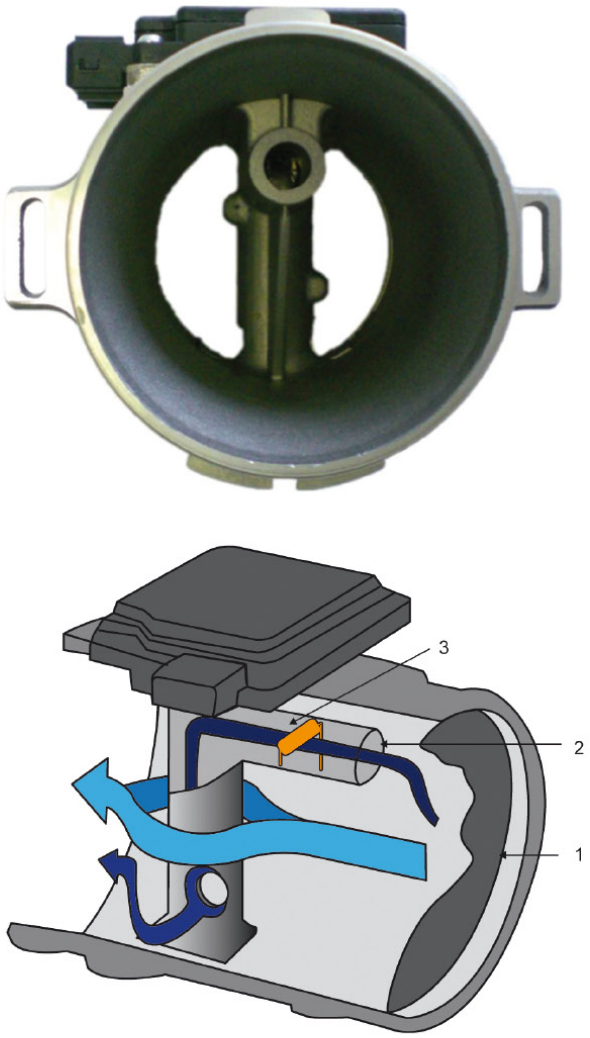
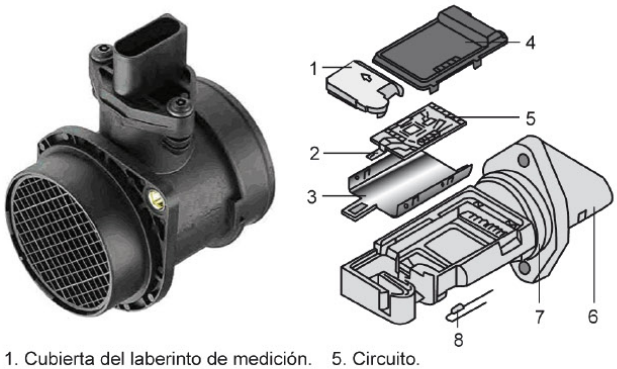


Figura 10.118. *Caudalímetro de hilo caliente de by-pass o de caudal de aire en derivación.*

- **Sistema Motronic:** los sistemas que van nombrados tras las siglas correspondientes con la palabra Motronic, incorporan una unidad de control que gestiona de forma conjunta el sistema de alimentación y de encendido. La fase de arranque se controla adaptando el tiempo de inyección y de encendido. Las primeras generaciones mantenían el caudalímetro de aleta y la válvula de aire adicional. Este tipo de sistemas pueden realizar una inyección secuencial, siendo necesario un sensor de fase, al igual que ocurría con el encendido secuencial, para identificar la posición del cilindro número uno. La unidad de control incorpora un protocolo de autodiagnosis con memoria de averías, pudiendo tomar valores sustitutivos y funcionar con modos de emergencia en caso de avería. Pueden realizar la regulación Lambda y controlar la electroválvula del cánister para reciclar los vapores del depósito de combustible.

Para realizar un ajuste de la mezcla más preciso, los medidores de la masa de aire evolucionaron surgiendo los llamados de placa, de película caliente o HFM (*Hot Film Air Mass Meter*), cuyo aspecto exterior y elementos que lo componen pueden verse en la Figura 10.119. Estos medidores pueden incorporar un sistema de detección del retroceso del aire y su funcionamiento se explica por medio de la Figura 10.120.

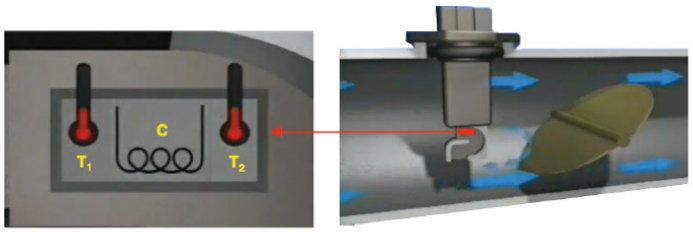


1. Cubierta del laberinto de medición.
2. Sondas térmicas y calefactor.
3. Placa de montaje.
4. Cubierta del circuito.
5. Circuito.
6. Conexión eléctrica.
7. Junta tórica.
8. Sensor de temperatura auxiliar.

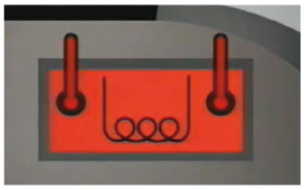
Figura 10.119. *Aspecto exterior y elementos que componen un medidor de masa de aire de película caliente con detección del retroceso del aire.*

Otra forma de medir la masa de aire admitida es con un sensor de presión absoluta en el colector de admisión o sensor MAP (*Manifold Absolute Pressure*) y una sonda de temperatura del aire aspirado, de tipo NTC. Estos elementos están representados en la Figura 10.121. El sensor MAP se encuentra en el colector de admisión o en otro lugar distinto, estando unidos por un tubo flexible. Puede ser de tipo piezoeléctrico o de tipo piezorresistivo, siendo más utilizados estos últimos. El sensor MAP de tipo piezorresistivo se encarga de convertir las variaciones de presión en el colector de admisión en variaciones de tensión, por medio de un divisor de tensión formado por resistencias. En su interior se encuentra un diafragma sensible a la presión en el colector, sobre el que se disponen unas resistencias de material piezorresistivo. Al deformarse el diafragma por efecto de la presión en el colector, el sensor ofrece un valor de tensión proporcional a dicha presión o, lo que es lo mismo, a la carga del motor. La unidad de control alimenta el sensor con una tensión de 5 V, y, según aumenta la presión, también lo hace la tensión de salida. La sonda de temperatura del aire aspirado puede montarse de forma independiente o formando un conjunto con el sensor MAP.

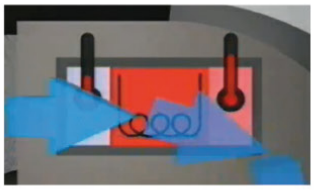
© Ediciones Paraninfo



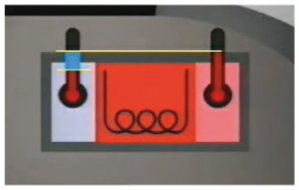
El aire aspirado sufre turbulencias por la apertura y cierre de las válvulas de admisión Y por el movimiento de la mariposa de gases. Estos medidores llevan instaladas dos sondas térmicas (T1 y T2), interponiendo entre ellas un calentador (C).



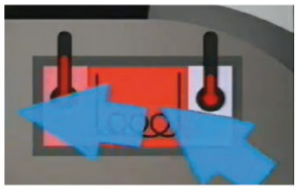
El calentador calienta las sondas de temperatura para que las dos tengan la misma temperatura mientras no circule aire a través de ellas.



Cuando el motor está en marcha, las dos sondas son refrigeradas por el aire aspirado, estando la sonda T2 menos refrigerada que la T1, ya que el aire de admisión es ligeramente calentado al pasar por el calefactor.



La unidad de control calcula la masa de aire aspirado a partir de la diferencia de temperatura entre ambas sondas.

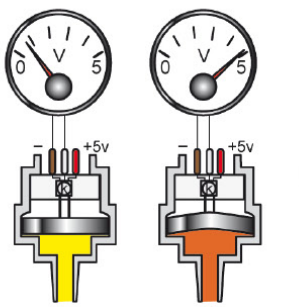


Cuando el aire pasa en sentido contrario, la sonda T2 tiene una refrigeración mayor que la T1. En este caso la diferencia de temperaturas se produce al contrario que cuando el aire circula en el sentido normal de admisión, por lo que gracias a este efecto, la unidad de control interpreta que esto es debido al retroceso del aire, sin tenerlo en cuenta para los cálculos.

Figura 10.120. *Funcionamiento de un medidor de masa de aire de película caliente con detección del retroceso del aire.*

Sensor MAP

Sonda de temperatura del aire aspirado



Funcionamiento del sensor MAP

Conjunto del sensor MAP y sonda de temperatura del aire aspirado

Figura 10.121. *Sensor MAP y sonda de temperatura del aire aspirado.*

Sabías que...

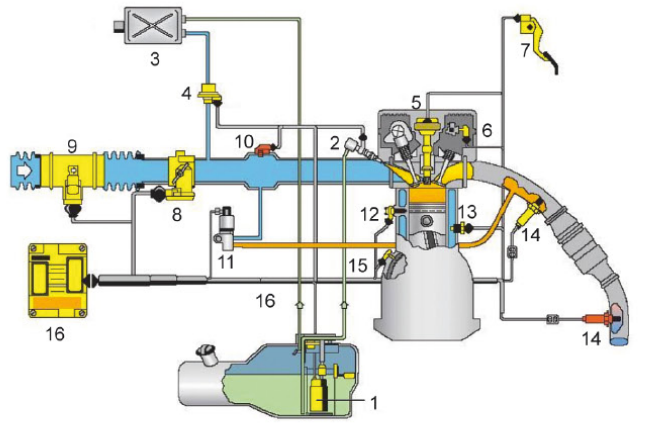
Muchos medidores de la masa de aire aspirado modernos, en lugar de ofrecer a la unidad de control una señal de tensión variable, el circuito que incorporan envía una señal de frecuencia variable.

Sabías que...

Existen unos medidores de aire de tipo Karman Vortex, cuyo funcionamiento se basa en que el aire de entrada reacciona contra un generador Vortex, formado por un elemento de geometría especial que empieza con una punta cónica, que genera un efecto de torbellino en el aire aguas abajo. Las frecuencias de los vórtices generados por el arremolinamiento del aire varían en proporción a la velocidad del aire de entrada, o carga del motor. El movimiento vorticial del aire agita un pequeño espejo, que se mueve con la misma frecuencia que los vórtices del aire. Los movimientos oscilantes del espejo hacen que la luz emitida por un diodo LED se transmita de forma alterna a un fototransistor, que con la continua conexión y desconexión a masa, generará una onda cuadrada que aumentará su frecuencia según lo haga la velocidad del aire.

© Ediciones Paraninfo

- **Sistema Motronic ME 7:** el esquema genérico de esta evolución de los sistemas Motronic es el que muestra la Figura 10.122. Al ser un sistema de inyección multipunto secuencial, incorpora una bobina individual para cada cilindro y un sensor de fase para saber en todo momento la posición de todos los pistones. Cabe destacar que en este sistema se instala una mariposa de gases robotizada y un pedal de acelerador electrónico. De esta forma, la unidad de control es capaz de interpretar la demanda de potencia por parte del conductor, a través del acelerador electrónico. A través de la posición del pedal de acelerador y otros parámetros, como el régimen de giro, la temperatura del motor, la conexión del aire acondicionado, el control de tracción, el sistema de frenos ABS… la unidad de control gestiona el momento de encendido exacto, la cantidad de combustible a inyectar y el ángulo de apertura de la mariposa. Consecuentemente se reduce el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, aumentando las prestaciones y el confort de marcha. Además, este sistema permite la integración con otros del vehículo, como el de tracción o el de seguridad, evitando duplicar sensores y compartiendo información a través de la red CAN-Bus.



1. Bomba de combustible.
2. Rampa de inyección / inyectores.
3. Cánister.
4. Válvula del cánister.
5. Bobinas y bujías de encendido.
6. Sensor de fase.
7. Pedal de acelerador electrónico.
8. Cuerpo de la mariposa electrónica.
9. Medidor de la masa y temperatura del aire
10. Sensor MAP.
11. Válvula EGR.
12. Sensor de picado.
13. Sensor de temperatura del motor.
14. Sondas Lambda.
15. Sensor de régimen de giro.
16. Unidad de control.

Figura 10.122. *Esquema genérico del sistema Motronic ME 7.*

Sabías que...

En los sistemas de inyección y encendido secuenciales modernos, con la ayuda del sensor de detonaciones, la unidad de control es capaz de identificar en qué cilindro se ha producido la detonación y regular el avance de encendido de forma individual para evitar este fenómeno.

Recuerda que...

CAN significa *Controller Area Network* (red de área de controlador) y significa que las unidades de control están interconectadas e intercambian datos entre sí. Por ejemplo, la señal de régimen de giro del motor puede ser compartida por la unidad de control del motor, la unidad de control del ABS y la unidad de control del cuadro de instrumentos.

Aunque la configuración de elementos de este sistema varía de unos vehículos a otros, los más representativos se muestran en la Figura 10.123 y se explican a continuación:

– **Módulo de pedal acelerador:** está formado por el pedal y dos transmisores de posición, con el fin de tener una información redundante y aumentar la seguridad del sistema. De esta forma, la unidad de control detecta la posición del pedal acelerador en todo momento. Los transmisores son potenciómetros unidos a un mismo eje. Con cada posición del acelerador, las resistencias de los potenciómetros varían y con ellas la tensión transmitida a la unidad de control. Uno de los transmisores lleva incorporada una resistencia en serie para obtener dos curvas características distintas de los transmisores, necesarias para las funciones de seguridad y verificación. Los potenciómetros son alimentados con una tensión de 5 V y, para mayor seguridad, cada uno dispone de un terminal de alimentación, uno de masa y otro de señal de salida.

Si se avería uno de los transmisores:

» El incidente se memoriza en la memoria de averías.

» Se enciende el testigo de avería EPC.

» El sistema pasa a gestionar el ralentí y si en esa posición se detecta que funciona el segundo transmisor, se puede reanudar la marcha pero si se demanda plena carga el motor responde lentamente.

» El sistema emplea como información adicional de ralentí la señal del pedal de freno o de la luz de freno.

» Se desactivan funciones como el programador de velocidad de crucero.

Si se averían los dos transmisores:

» El incidente se memoriza en la memoria de averías.

» Se enciende el testigo de avería EPC.

» El motor funciona con un ralentí acelerado de 1500 rpm y no reacciona ante movimientos del pedal.

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

Dado que los potenciómetros están sometidos a desgaste mecánico, muchos sistemas emplean transmisores de tipo Hall o inductivos.

– **Unidad de mando de la mariposa:** este dispositivo se instala en el colector de admisión. Para mover la mariposa, la unidad de control alimenta un motor eléctrico. Por otro lado, dos transmisores de ángulo informan a la unidad de control sobre la posición angular de la mariposa, ofreciendo una información redundante por motivos de seguridad. El motor eléctrico acciona la mariposa de gases interponiendo un tren de engranajes, siendo el rango de regulación desde ralentí a plena carga, de forma continua. En la rueda dentada que gira solidaria al eje de la mariposa se encuentran los contactos de los cursores de los potenciómetros. Según el ángulo de la mariposa varía la resistencia en las pistas de contacto de los potenciómetros, obteniéndose una tensión variable dependiente del ángulo de apertura de la mariposa, que es enviada a la unidad de control. Las curvas características de los potenciómetros son inversas, de forma que la unidad de control es capaz de distinguir de qué potenciómetro proviene la información y realizar las funciones de verificación.

En caso de avería de la unidad de mando de la mariposa:

» El sistema lleva automáticamente la mariposa a la posición de marcha de emergencia.

» El incidente se memoriza en la memoria de averías.

» Se enciende el testigo de avería EPC.

» Se desactivan funciones como el programador de velocidad de crucero.

Recuerda que...

Si se sustituye la unidad de mando de la mariposa, se tiene que realizar un ajuste básico de la misma, normalmente empleando el equipo de diagnóstico.

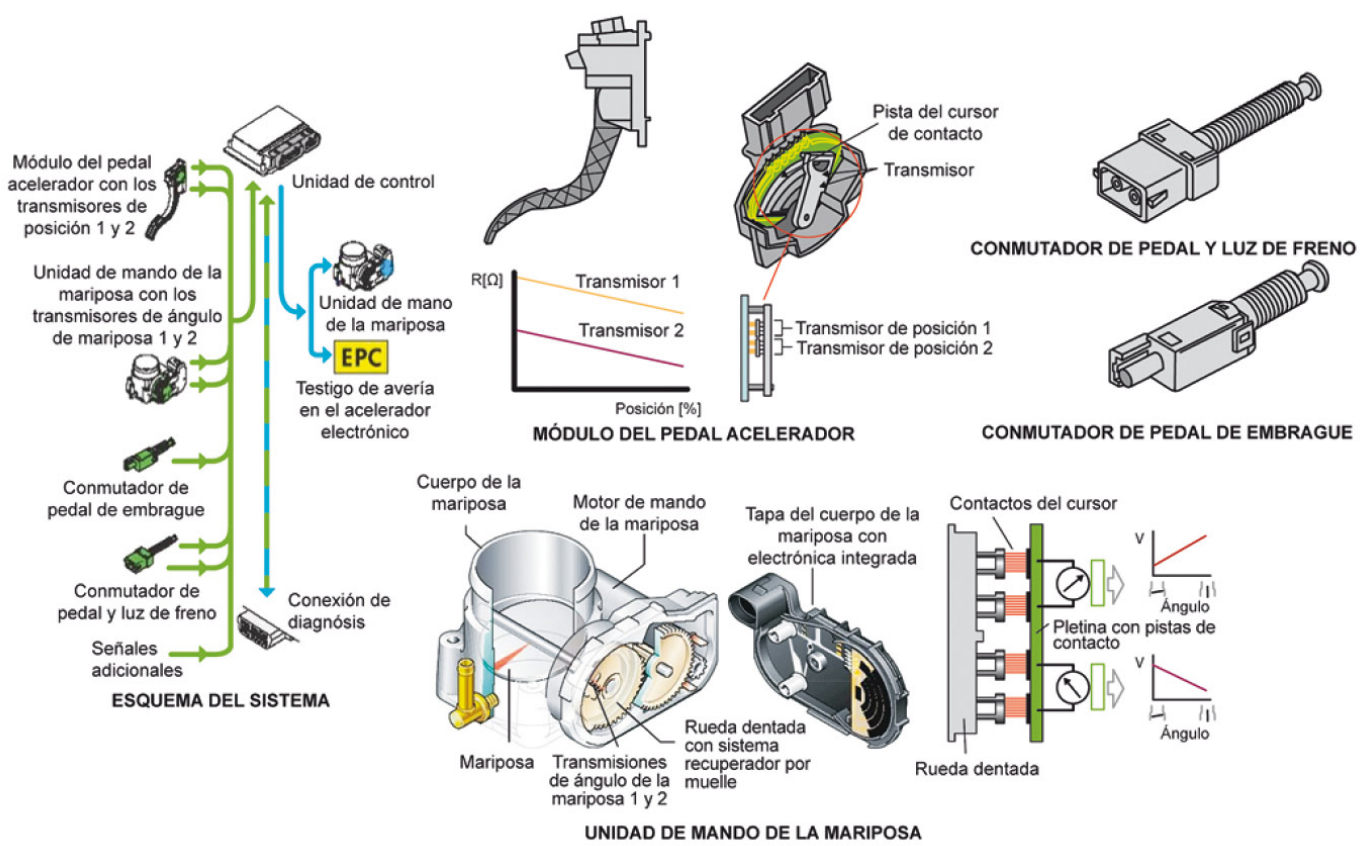


Figura 10.123. *Elementos representativos del sistema Motronic ME 7.*

© Ediciones Paraninfo

– **Conmutador de pedal de freno y de luz de freno:** estos dos conmutadores se integran en un mismo elemento y ofrecen una información redundante a la unidad de control por motivos de seguridad. La señal de activación es empleada para desactivar el programa de velocidad de crucero y para adoptar la posición de ralentí en caso de avería en un transmisor del pedal acelerador. Si este dispositivo se averiara, se desactivarían funciones como el programador de velocidad de crucero.

– **Conmutador de pedal de embrague:** informa a la unidad de control sobre el accionamiento del embrague, para desactivar el programador de velocidad de crucero. Puede actuar sobre la gestión del motor para realizar un cambio de marchas más suave.

– **Testigo de avería EPC:** el testigo de avería EPC (*Electronic Power Control*) va instalado en el cuadro de instrumentos e informa de algún fallo en el sistema del acelerador electrónico. Normalmente suele encenderse durante unos segundos al activar el contacto y si el sistema no tiene ninguna avería se apaga posteriormente. Si se funde la lámpara del testigo no afecta a la funcionalidad del sistema, pero el fallo se guarda en la memoria de averías.

10.5.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones

El mantenimiento de los sistemas de inyección electrónica indirecta multipunto es similar a los estudiados anteriormente, en lo que se refiere a la sustitución periódica de los filtros.

Las averías que pueden surgir en estos sistemas son muy variadas, debido a las diferentes configuraciones de elementos que existen entre unos y otros. Esto hace que el proceso a seguir en las comprobaciones también pueda ser distinto, aunque muchos procedimientos son similares a otros sistemas de alimentación. En cualquier caso, siempre habrá que consultar la documentación técnica del fabricante para afrontar las posibles disfunciones.

A continuación se va a desarrollar de forma esquemática el proceso de comprobación genérico del sistema de inyección electrónica multipunto L-Jetronic.

- **Comprobaciones en el circuito de alimentación:**

  – **Bomba de combustible:** para comprobar que la bomba suministra la presión prescrita, hay que instalar un manómetro en paralelo con la rampa de inyección. Posteriormente se arranca el motor y se mantiene a unas 2000 rpm durante un tiempo para eliminar las posibles burbujas de aire. Después se deja al régimen de ralentí y se desconecta el tubo de vacío que va desde el colector de admisión al regulador de presión, debiendo leerse en el manómetro una presión de 2,5 a 3 bar. Al conectar el tubo de vacío, la presión ha de descender 0,5 bar. En caso de que el motor no arranque, se puentea el relé de la bomba y para simular la depresión al ralentí se utiliza una bomba de vacío conectada al tubo del regulador. Con la bomba de vacío se establece una depresión de 0,5 bar y la presión en el manómetro debe ser de 2 a 2,5 bar. Pueden darse dos casos:

    » Que la presión sea mayor a la indicada por el fabricante, debiendo comprobar si hay obstrucciones en el tubo de retorno o si el regulador de presión está en mal estado.

    » Que la presión sea menor a la prescrita, pudiendo ser debido a un defecto de la bomba, a saturación del filtro de gasolina o al mal funcionamiento del regulador de presión.

  Para comprobar que el caudal suministrado por la bomba es el correcto, se desconecta el tubo de retorno del regulador y en su lugar se instala otro tubo que desemboque en una probeta graduada. Se puentea el relé de la bomba durante 30 segundos y en la probeta deben recogerse el volumen especificado por el fabricante, que suele ser en torno a 750 ml.

  – **Inyectores:** en los inyectores hay que comprobar lo siguiente:

    » *Pulverización:* para hacer esta comprobación se introducen los inyectores montados en la rampa de inyección en probetas graduadas y se desconecta la batería para poder quitar el conector de la unidad de control. Posteriormente se puentea el relé de la bomba de forma que se alimente a la bomba de combustible y al inyector. Se identifica en la unidad de control el terminal negativo de los inyectores y con un cable conectado a masa de forma manual se da el impulso a los inyectores provocando su apertura. Una vez realizado lo anterior se verifica que la gasolina sale formando un cono uniforme.

    » *Caudal:* siguiendo con el montaje anterior, los inyectores se activan hasta alcanzar en una de las probetas un volumen de unos 80 ml. La diferencia entre el máximo volumen recogido y el menor, no debe exceder de 3 ml. Si esto no se cumple, los inyectores puede que estén sucios y hayan acumulado partículas en el microfiltro y en el asiento de la aguja.

    » *Estanqueidad:* por la acumulación de partículas en el asiento de la aguja puede que los inyectores no

© Ediciones Paraninfo

tengan un cierre estanco. Para comprobar la estanqueidad de los inyectores, partiendo del montaje explicado anteriormente, se dejan de activar, manteniendo alimentada la bomba, y se comprueba que vierten menos de una gota por minuto.

La limpieza de inyectores puede llevarse a cabo montados en el vehículo o fuera del mismo, siendo más eficiente la segunda opción. A su vez, la limpieza fuera del vehículo puede hacerse mediante ultrasonidos y líquido limpiador o por circulación a presión del líquido limpiador por el interior de los inyectores. En cualquier caso, sea cual sea el método utilizado, deberá comprobarse posteriormente la correcta pulverización, el caudal y la estanqueidad de los inyectores. Además, tras la operación de limpieza, hay que sustituir los casquillos, los microfiltros y las juntas tóricas, ya que después de ciertos miles de kilómetros las gomas se endurecen, no ajustan y pueden provocar tomas de aire.

- **Comprobaciones en caso de que el vehículo no arranque:** si el sistema de encendido funciona correctamente y el circuito de alimentación está comprobado, habrá que hacer las siguientes verificaciones en caso de que el vehículo no arranque:

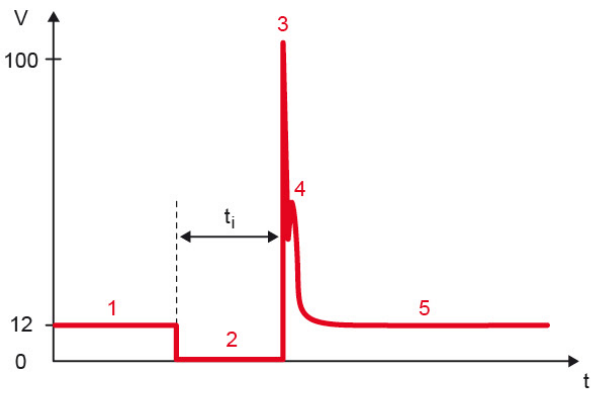
  – **Comprobación de la apertura de los inyectores:** para realizar esta operación se puede emplear un LED de pruebas introduciendo las dos puntas en los terminales positivo y negativo de cada inyector. Al activar el arranque el LED debe parpadear, indicando que la unidad de control cierra el circuito a masa correctamente. Si no se observa este hecho, la avería puede ser la ausencia de señal de régimen de giro, la alimentación de la unidad de control o la propia unidad de control.

Recuerda que...

Siempre que se vaya a retirar el conector de la unidad de control hay que desconectar la batería, para evitar falsos contactos y picos de tensión que puedan afectar a la electrónica.

  – **Tiempo de inyección:** para comprobar el tiempo de inyección se conecta la sonda de un osciloscopio al terminal negativo del inyector y la pinza a masa. Las señales obtenidas en el osciloscopio pueden variar en función del tipo de inyector, que puede ser:

    » *Inyector de impulso único:* en este caso la unidad de control cierra a masa el circuito del inyector de forma continua cuando se ordena la apertura y cuando está cerrado se obtiene la tensión de batería. La Figura 10.124 muestra la señal de mando característica de este tipo de inyectores, así como las diferentes zonas de la misma. Cabe destacar el resalte que se produce por el rebote de la aguja. Este tiene que ser aproximadamente igual en todos los inyectores. Si no hay rebote de la aguja es que el inyector está muy sucio y si es muy grande puede indicar que el muelle está muy fatigado. Si el pico de autoinducción es poco pronunciado, puede ser que falle el transistor de corte de la unidad de control, fenómeno que vendría acompañado de un pico negativo antes que el de autoinducción. El tiempo de apertura de los inyectores oscila entre 1 y 15 milisegundos.



1. Zona de cierre. Tensión de batería (12 V).
2. Zona de apertura. Conexión a masa (0 V).
3. Pico de tensión por autoinducción de la bobina del inyector al desaparecer el campo magnético cuando se desconecta el inyector.
4. Resalte por el rebote de la aguja.
5. Zona de cierre. Tensión de batería (12 V).

t_i. Tiempo de inyección.

Figura 10.124. *Señal de mando característica de un inyector de impulso único.*

    » *Inyector de impulso múltiple:* en este caso la unidad de control abre el inyector realizando una primera conexión a masa, aplicando una serie de conexiones y desconexiones posteriores de muy corta duración, que sirven para mantener la aguja del inyector abierta. Al cesar la corriente de mando se vuelve a producir el pico de autoinducción y el resalte por rebote de la aguja. Mientras que en el caso anterior el tiempo de inyección lo determinaba el tiempo de conexión a masa del inyector, en el inyector de impulso múltiple el tiempo de conexión a masa inicial es constante y lo que se varía es el número de oscilaciones posteriores, conformando el tiempo de inyección. La señal de mando característica de un inyector de impulso múltiple está representada en la Figura 10.125.

© Ediciones Paraninfo

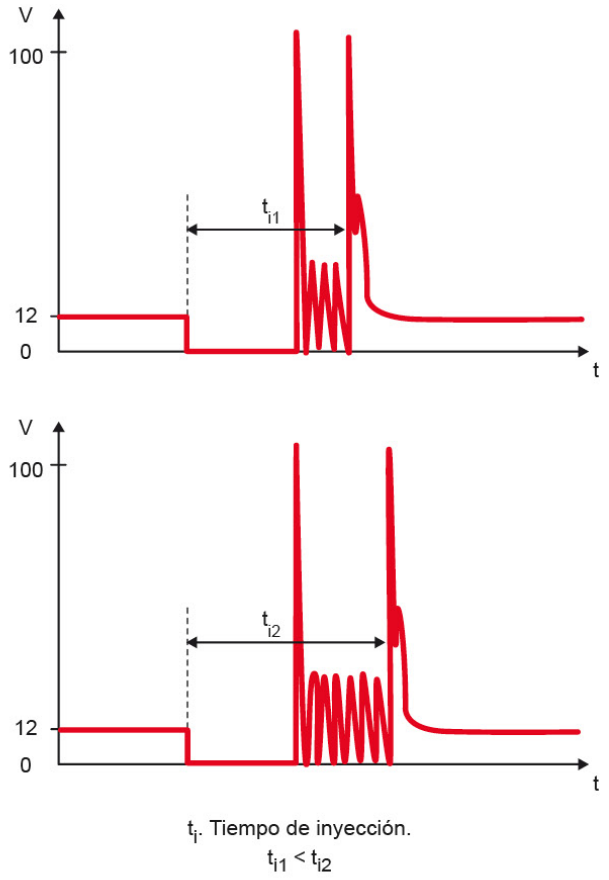


Figura 10.125. *Señal de mando característica de un inyector de impulso múltiple.*

El motor puede no arrancar por un tiempo de inyección demasiado corto o inexistente, o bien por un tiempo de inyección excesivamente largo, ahogándose por exceso de combustible. En estas circunstancias el fallo puede ser del sensor de temperatura del líquido refrigerante, del caudalímetro o de la propia unidad de control.

En el caudalímetro hay que hacer las siguientes verificaciones:

– **Tensión de alimentación:** para hacer esta comprobación se mantiene puenteado el relé taquimétrico y se mide la tensión entre los terminales de alimentación y masa del caudalímetro. La tensión debe ser la de batería. Si no es así habrá que revisar la instalación eléctrica.

– **Sonda de temperatura del aire aspirado:** para comprobar este dispositivo se mantiene el puente del relé y se mide la tensión entre los bornes de señal correspondientes de la unidad de control. Orientativamente, a 20 °C, se deben leer 8 V. Además, se observará si varía la tensión aumentando o disminuyendo la temperatura de la sonda. Si no se obtienen valores de tensión correctos, habrá que comprobar los cables. El caudalímetro no tiene reparación, por lo que si la sonda de temperatura o la resistencia de medición están defectuosas, habrá que sustituirlo por completo.

– **Medición del volumen de aire aspirado:** manteniendo el puente del relé, se mide la tensión entre los bornes de entrada de señal correspondientes de la unidad de control. Debe obtenerse un voltaje que depende de la posición de la aleta sonda. A modo de referencia, en su posición de reposo la tensión es de 1,4 V y en la de máxima apertura de 8 V. Si estos valores no son correctos, se comprueba la instalación eléctrica. Si es defecto del caudalímetro se sustituirá completamente. Otra forma de comprobar el medidor de volumen de aire es con el uso del osciloscopio. Instalando la sonda del osciloscopio, se abrirá manualmente y de forma progresiva la aleta sonda. En la pantalla se debe observar una gráfica uniforme. Si se detectan discontinuidades o saltos bruscos, llamado ruido del caudalímetro, el motor dará tirones y el ralentí será inestable, debiendo sustituir el caudalímetro. La Figura 10.126 muestra un ejemplo de medición de la apertura de la aleta sonda de forma progresiva de tope de cierre a tope de máxima apertura, volviendo de nuevo a su tope de cierre, indicándose una señal correcta y otra que denota un fallo en las pistas del potenciómetro.

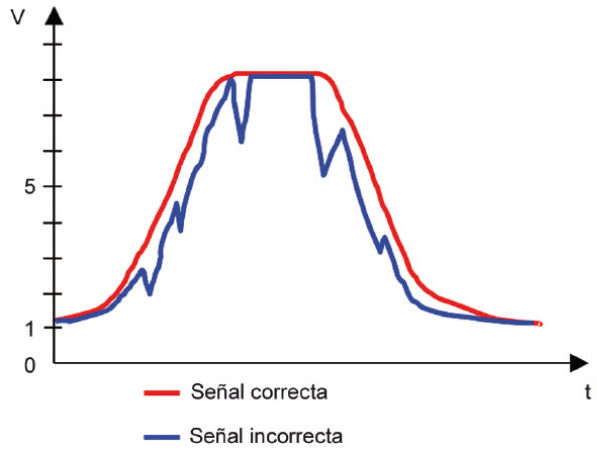


Figura 10.126. *Comprobación del potenciómetro del caudalímetro con el osciloscopio.*

- **Circuito eléctrico:** los elementos más importantes a verificar son:

  – **Relé de la bomba:** en el sistema L-Jetronic, el relé es taquimétrico, debiendo identificar todos sus terminales correctamente para proceder a su comprobación,

© Ediciones Paraninfo

ya que puede tener diferentes configuraciones dependiendo del sistema.

– **Interruptor de la mariposa:** en el interruptor de mariposa debe comprobarse su instalación eléctrica, el funcionamiento de los microinterruptores internos y su reglaje. El reglaje del interruptor de la mariposa depende de unos modelos a otros y se actuará sobre los tornillos de fijación, ya que la posición relativa de este dispositivo puede regularse mediante los colisos practicados en su soporte.

– **Funcionamiento de la unidad de control:** las verificaciones a realizar son:

  » *Corte en deceleración:* para comprobar este modo de funcionamiento, debe desaparecer la señal de inyección en el osciloscopio al decelerar, estando el motor a más de 1500 rpm.

  » *Enriquecimiento a plena carga:* en este caso, se mantiene el motor a unas 3000 rpm y se puentean los terminales del interruptor de plena carga de la mariposa. En el osciloscopio debe observarse un aumento del tiempo de inyección.

  » *Fase de arranque en frío:* este modo de funcionamiento depende de cada tipo de motor. Suponiendo un sistema que realiza inyecciones dobles en esta fase, se empleará un osciloscopio de 2 canales como mínimo. En un canal se observará el negativo de bobina, que servirá de referencia, y en el otro la señal de un inyector. El objetivo es observar los impulsos de inyección por cada dos vueltas de giro del motor. Con el motor a menos de 30 °C y activando el arranque, deben observarse cuatro impulsos de inyección y cuatro impulsos de negativo de bobina. Si se sigue actuando sobre el arranque, los impulsos dobles van reduciendo su tiempo de inyección hasta desaparecer. Si las señales y el sensor de temperatura del líquido refrigerante están correctos, y aun así el motor tiene dificultades en el arranque en frío, puede que la unidad de control esté defectuosa.

Algunas de estas comprobaciones pueden hacerse con máquina de diagnosis.

El resto de sistemas de inyección electrónica indirecta multipunto tienen una estructura de diagnóstico similar. Las comprobaciones en el circuito de combustible son siempre las mismas, aunque los valores sean diferentes, por lo que es necesario disponer de la documentación técnica. En cuanto a otros dispositivos, habrá que analizar en cada caso, por ejemplo, qué tipo de medidor de masa de aire monta, si en lugar de interruptor de la mariposa lleva

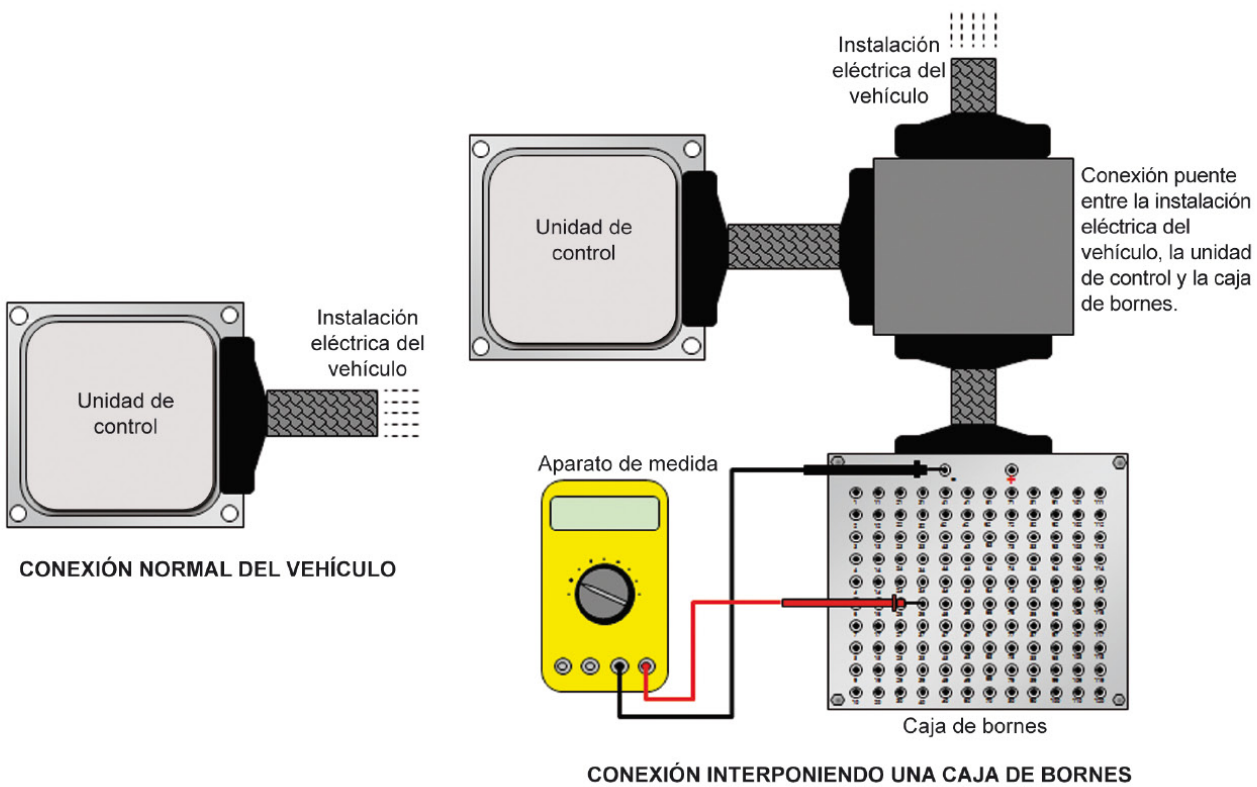


Figura 10.127. *Esquema de conexión de la caja de bornes.*

© Ediciones Paraninfo

un potenciómetro, si es inyección secuencial verificar el sensor de fase, si incorpora distribución variable o admisión variable…

Por este motivo, siempre habrá que identificar en cada sensor o actuador:

- Terminales de conexión, tanto en el dispositivo como en la unidad de control.
- Valores de referencia de voltaje, intensidad, resistencia…
- La señal que se espera registrar con un osciloscopio, ya que hay dispositivos analógicos que envían a la unidad de control una señal en forma de tensión variable con el tiempo, y otros digitales que envían una señal cuadrada cuya frecuencia varía con la magnitud del parámetro a medir.

Una herramienta muy útil para hacer comprobaciones con polímetro u osciloscopio es la caja de bornes. Consiste en un panel donde aparecen una serie de bornes numerados que coinciden con los bornes o pines de la unidad de control. La caja de bornes se intercala entre la unidad de control y la instalación eléctrica, como muestra la Figura 10.127. Normalmente, estos dispositivos incorporan más bornes que los que se pueden necesitar en algunos casos, ya que están dimensionados e incluyen conectores para diferentes tipos de sistemas. De esta forma, se tiene un fácil acceso con los equipos de medida a todos los terminales de conexión, pudiendo realizar rápidamente la verificación de todas las señales de la unidad de control.

Recuerda que…

Cuando se utilice la caja de bornes, es necesario disponer de la relación de pines y su identificación, conocido también como *pin data*, ofrecido en el manual del fabricante.

Tras las comprobaciones se contrastarán los valores de referencia del fabricante con los obtenidos en las pruebas.

En los sistemas de inyección más modernos, se comparten sensores con otros elementos de la red del vehículo, que son susceptibles de ser verificados en caso de avería. Se pueden destacar los interruptores de freno y embrague, el sensor de velocidad del vehículo, el manocontacto de la dirección asistida, el interruptor del aire acondicionado…

Otra forma de diagnóstico, que ha evolucionado paralelamente a los sistemas del vehículo y a las normativas anticontaminación, es mediante máquina de diagnosis. Las primeras unidades de control disponían de un sistema de código de destellos para identificar averías. Posteriormente, se incorporaron los conectores de diagnosis para comunicarse con una máquina externa, que permite leer códigos de averías, monitorizar parámetros de funcionamiento, modificar algunos parámetros (según modelo de vehículo y de máquina), borrar códigos de averías, codificar llaves…

Las máquinas de diagnosis pueden ser de diferentes tipos, desde bancos de diagnosis a dispositivos portátiles.

Sabías que…

Algunos dispositivos portátiles pueden realizar mediciones a cierta distancia del vehículo, enviando la señal mediante Bluetooth.

El protocolo de comunicación entre el vehículo suele estar normalizado según ciertos estándares internacionales, como las normas ISO o SAE.

Las máquinas de diagnosis forman parte de los procesos guiados de diagnóstico, mientras que las comprobaciones convencionales, tomando valores reales de los dispositivos y observando su funcionamiento, forman parte de los procesos no guiados.

Recuerda que…

Hay que saber interpretar muy bien los datos de la máquina de diagnosis, ya que por ejemplo, los valores de medición pueden ser parámetros de emergencia. Haciendo mediciones directamente sobre los dispositivos, se obtienen valores reales que se pueden comparar con los prescritos por el fabricante.

Recuerda que…

Tras hacer las operaciones pertinentes hay que borrar los códigos de avería con la máquina de diagnosis y comprobar que no vuelve a producirse el fallo.

Aunque para explicar la alimentación de gasolina se han tomado como referencia los sistemas de la marca Bosch, existen otras marcas cuyos componentes tienen una estructura y función similar, algunas de ellas son Delphi, Magneti Marelli, Lucas, Siemens y otras que son desarrolladas por las propias marcas.

© Ediciones Paraninfo

10.6. La inyección directa electrónica

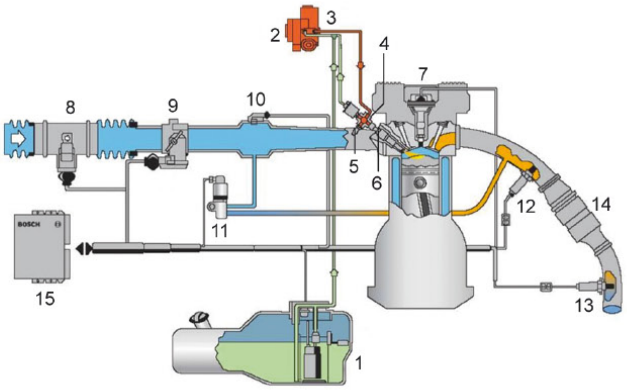
10.6.1. Características, componentes y funcionamiento

Aunque la inyección mecánica directa de gasolina fue instalada en algunos vehículos a mediados del siglo XX, no ha sido hasta finales de dicho siglo cuando se ha empezado a explotar su potencial. Esto ha sido posible gracias a la evolución de la gestión electrónica de los motores.

Los sistemas de inyección directa de combustible introducen la gasolina en el interior del cilindro, como muestra la Figura 10.128, a diferencia de la inyección indirecta, que lo hacía antes de la válvula de admisión. De esta forma aumenta el rendimiento del motor, reduciéndose el consumo de combustible y las emisiones contaminantes.

Figura 10.128. *Inyección directa de gasolina.*

La mayoría de componentes de este tipo de sistema de alimentación son similares a los estudiados anteriormente. Las diferencias fundamentales se encuentran en el circuito de combustible. La Figura 10.129 muestra el esquema genérico de un sistema de inyección directa de gasolina, en este caso correspondiente al sistema Bosch Motronic MED 7. Este conjunto emplea una bomba eléctrica de baja presión para trasladar la gasolina desde el depósito a la bomba de alta presión, de accionamiento mecánico. Posteriormente, se envía a la rampa de inyección y de ahí a los inyectores, que pulverizarán el combustible dentro del cilindro. El sistema puede completarse con la gestión de colectores de admisión variable, de mecanismos de distribución variable o de sobrealimentación.



1. Bomba de combustible.
2. Bomba de combustible de alta presión.
3. Regulador de presión de combustible.
4. Rampa de inyección.
5. Sensor de presión de combustible.
6. Inyector.
7. Bobina de encendido.
8. Medidor de la masa del aire.
9. Cuerpo de la mariposa robotizada.
10. Sensor MAP.
11. Válvula EGR.
12. Sonda Lambda (LSU).
13. Sonda Lambda (LSF).
14. Catalizador.
15. Unidad de control.

Figura 10.129. *Esquema del sistema de inyección directa de gasolina Bosch MED 7.*

Sabías que...

En la nomenclatura de Bosch, MED significa Motronic (M), acelerador electrónico (E) e inyección directa (D). El siguiente número, como por ejemplo el 7, indica la versión. Posteriormente se pueden encontrar dos cifras separadas por un punto que indican el nivel de desarrollo. Un ejemplo sería MED 9.5.10.

A continuación se van a explicar los elementos y características más significativos de los sistemas de inyección directa de gasolina.

- **Bomba de alta presión:** existen diferentes tipos de bomba de alta presión, dependiendo de la aplicación final, siendo las más importantes las siguientes:
  - **Bomba de cilindro único y dosificación regulada:** antes de proceder a la explicación del funcionamiento de la bomba, es conveniente estudiar el sistema de alimentación, mostrado en la Figura 10.130. La bomba de alta presión es alimentada de combustible por el circuito de baja presión. Esta baja presión es generada por la bomba eléctrica ubicada dentro del depósito. En ocasiones, la bomba eléctrica dispone de una unidad de control propia que le envía una señal de activación de tipo PWM. De esta forma, la anchura del

© Ediciones Paraninfo

pulso de la señal establece la presión en el circuito de baja presión, necesaria para cualquier estado del motor, que puede oscilar entre 0,5 y 5 bar, llegando a 6,5 bar en determinados transitorios como en las fases de arranque. La bomba de alta presión es accionada por una leva adicional del árbol de levas, interponiendo un empujador de rodillo. El conjunto de la bomba incorpora un regulador de presión, que consiste en una electroválvula, que limita la presión a unos 200 bar, dependiendo del modelo, devolviendo el combustible al circuito de baja presión cuando se supera este valor. El combustible es enviado a presión a la rampa de inyección, que sirve de acumulador y distribuidor hacia los inyectores. La rampa incorpora un sensor de presión de combustible que envía información a la unidad de control, y esta gobierna la electroválvula del regulador de presión. Con la electroválvula del regulador, el sensor de presión y el resto de información que recibe la unidad de control de diversos sensores, ajusta la presión en el sistema en función de las condiciones operativas del motor, normalmente entre 50 y 150 bar.

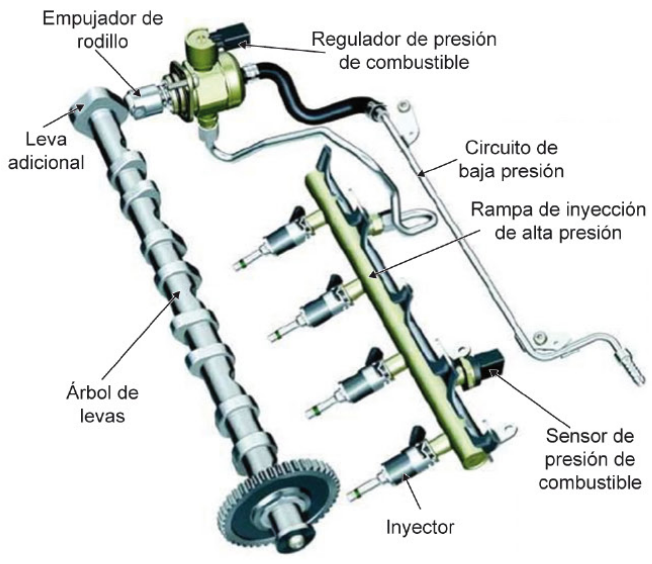


Figura 10.130. *Sistema de alimentación por bomba de alta presión de cilindro único y dosificación controlada.*

El funcionamiento de la bomba se explica a través de la Figura 10.131, donde se pueden distinguir cuatro partes:

» *Descripción:* dependiendo de las condiciones operativas del motor, la unidad de control gobierna el regulador de presión de forma que solo envía el combustible necesario a alta presión hacia la rampa de inyección.

» *Carrera aspirante:* durante la carrera descendente del émbolo, se produce la aspiración de gasolina hacia la cámara de la bomba. Gracias a fuerza del muelle de la aguja, la válvula de entrada es abierta por la aguja. La presión en la cámara de la bomba es aproximadamente igual a la del circuito de baja presión.

» *Retorno:* cuando se desea regular la presión de la bomba, la electroválvula del regulador de presión mantiene abierta la válvula de entrada. El movimiento ascendente del émbolo obliga a retornar el combustible hacia el circuito de baja presión. Las variaciones de presión producidas en la fase de regulación son atenuadas por el amortiguador de presión y un estrangulador situado en el conducto de entrada.

» *Carrera impelente:* la válvula de entrada permanece cerrada por la acción de su muelle. El movimiento ascendente del émbolo genera presión de combustible en la cámara de la bomba. Cuando esta presión es superior a la de la rampa de inyección, la válvula de salida se abre y el combustible es enviado hacia dicha rampa.

Normalmente las bombas incorporan una válvula de seguridad para que en caso de sobrepresión se comunique la cámara de la bomba con el circuito de baja presión.

– **Bomba de tres émbolos:** consiste en una bomba radial de tres émbolos desfasados 120°, movida por el árbol de levas y que puede entregar desde 3 hasta 100 bar de presión de gasolina. Los componentes y funcionamiento de esta bomba se explican por medio de la Figura 10.132 donde, por simplificar, se representa uno de los tres émbolos. En ella se distinguen:

» *Accionamiento:* el árbol de levas mueve el árbol de mando de la bomba, que contiene una excéntrica sobre la que se apoya un anillo de leva. El giro de la excéntrica y el arrastre del anillo de leva provoca los movimientos descendentes y ascendentes de los émbolos. En el movimiento descendente se aspira el combustible del circuito de baja presión. En el movimiento ascendente, el combustible es impulsado a alta presión hacia la rampa de inyección.

» *Carrera aspirante:* el émbolo desciende y el volumen del cilindro aumenta, generando una depresión. Cuando la presión en el émbolo hueco es superior a la del cilindro, abre la válvula de entrada y se introduce la gasolina procedente del circuito de baja presión.

© Ediciones Paraninfo

» *Carrera impelente:* cuando el émbolo asciende, aumenta la presión en el cilindro, cerrándose la válvula de entrada. Si la presión en el cilindro es mayor que la de la rampa de inyección, se abre la válvula de salida y la gasolina es enviada a presión hacia la rampa de inyección. Este sistema incorpora un regulador de presión de gasolina en la rampa de inyección que consiste en una electroválvula controlada por la unidad de control, que abre el retorno hacia el depósito cuando es preciso, con el fin de ajustar la presión en la rampa.

La Figura 10.133 muestra el esquema de una bomba de tres émbolos, donde están representados estos tres elementos y, en lugar de tener un anillo de leva, la excéntrica ataca directamente a los empujadores.

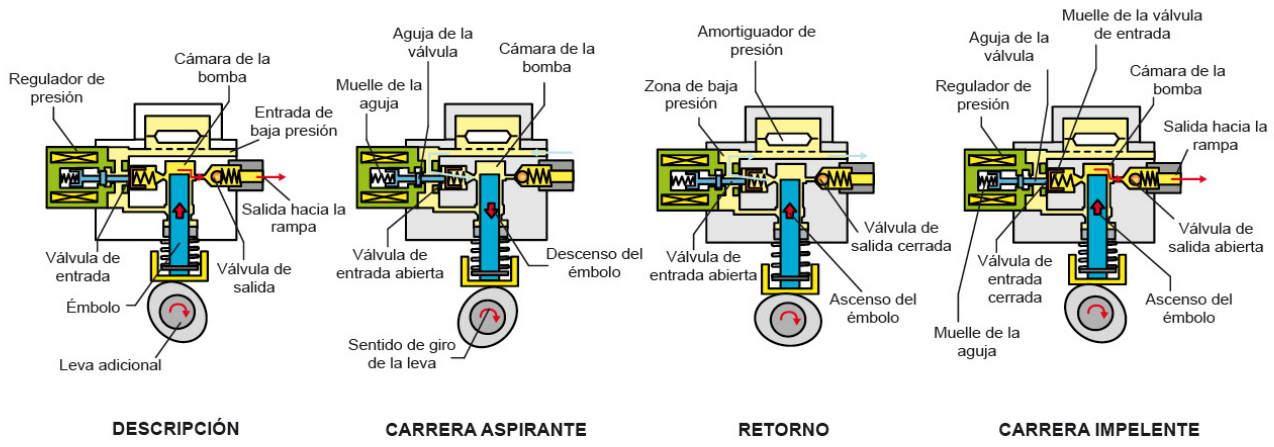


Figura 10.131. *Funcionamiento de la bomba de alta presión de cilindro único y dosificación controlada.*

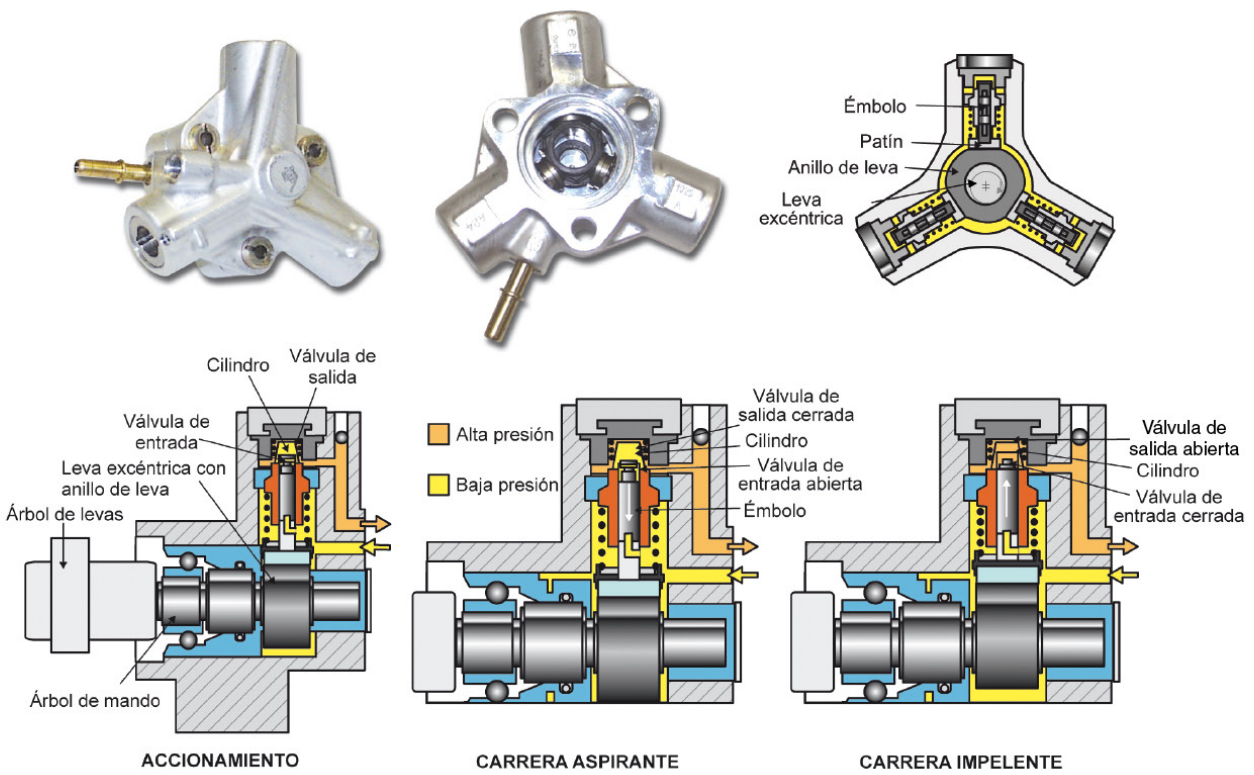
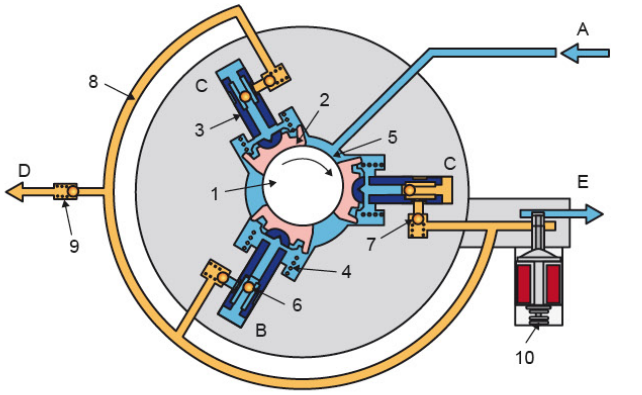


Figura 10.132. *Componentes y funcionamiento de la bomba de alta presión de tres émbolos.*

© Ediciones Paraninfo



1. Excéntrica.
2. Empujador deslizante.
3. Émbolo.
4. Muelle del émbolo.
5. Cámara de baja presión.
6. Válvula de admisión de baja presión.
7. Válvula de salida de alta presión.
8. Conducto de alta presión.
9. Válvula de retención.
10. Válvula reguladora de caudal.

A. Entrada de combustible a baja presión.
B. Llenado de la cámara de presión.
C. Generación de alta presión.
D. Salida de combustible a alta presión.
E. Retorno de combustible.

Figura 10.133. *Esquema de bomba de alta presión de tres émbolos sin anillo de leva.*

– **Bomba de émbolo accionada por disco oscilante:** en la Figura 10.134 se puede ver el aspecto exterior de este tipo de bombas, correspondiendo a una que incorpora tres émbolos. A través de la Figura 10.135 se

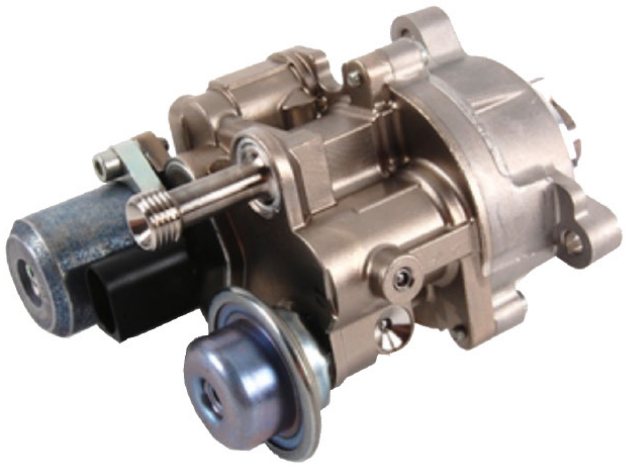
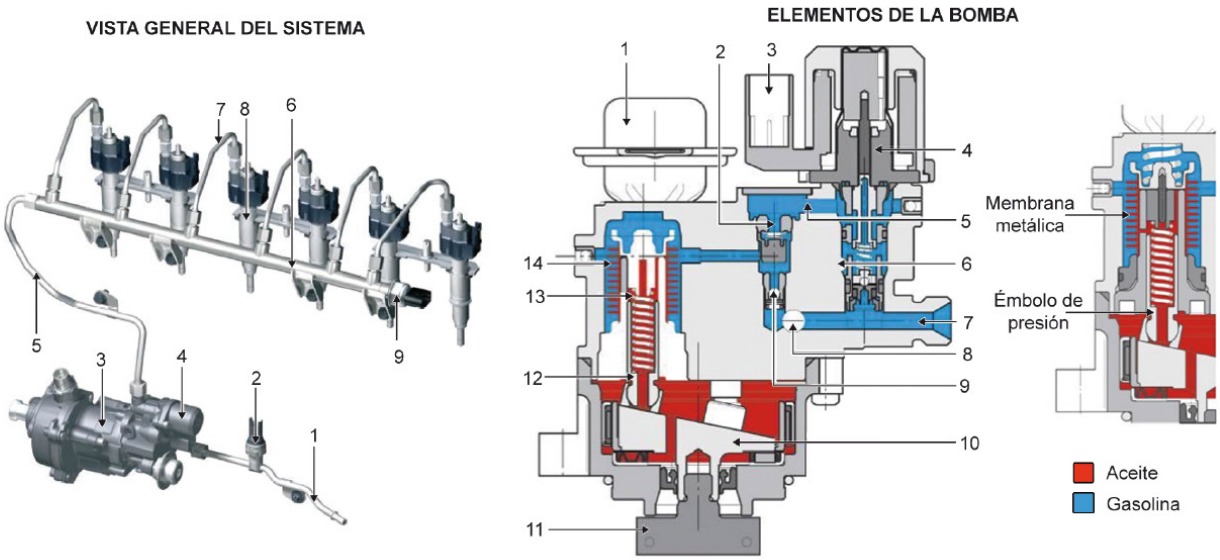


Figura 10.134. *Bomba de émbolo accionada por disco oscilante.*



1. Circuito de baja presión.
2. Sensor de baja presión.
3. Bomba de alta presión.
4. Válvula de control de caudal.
5. Conducto bomba-rampa.
6. Rampa de inyección.
7. Conducto rampa-inyector.
8. Inyector.
9. Sensor de alta presión.

1. Compensador térmico.
2. Válvula de retención de baja presión (1 de 3).
3. Conexión eléctrica procedente de la unidad de control.
4. Válvula de control de caudal.
5. Retorno de la válvula limitadora de presión.
6. Admisión de la bomba eléctrica.
7. Salida a la rampa de inyección.
8. Admisión de la válvula limitadora de presión.
9. Válvula de retención de alta presión (1 de 3).
10. Disco oscilante.
11. Acoplamiento de arrastre.
12. Émbolo de presión (1 de 3).
13. Admisión de aceite.
14. Cámara de combustible (1 de 3).

Figura 10.135. *Bomba de tres émbolos accionada por disco oscilante.*

© Ediciones Paraninfo

explica su funcionamiento. Observando el sistema, el sensor de alta presión envía información a la unidad de control sobre la presión real medida en la rampa de inyección. Este valor será evaluado en función de las condiciones operativas del motor y si hay que modificarlo, la unidad actuará sobre la válvula de control de caudal. En cuanto al funcionamiento de la bomba, el combustible entra por el conducto de admisión de la bomba de alta presión, procedente del circuito de baja presión. Posteriormente, es dirigido a través de la válvula de control de caudal y de la válvula de retención de baja presión, hacia la cámara de combustible del elemento de bombeo, donde se presuriza y se impulsa atravesando la válvula de retención de alta presión hasta la salida a la rampa de inyección. Al poner en marcha el motor, el acoplamiento de arrastre mueve el disco oscilante, que acciona los émbolos de presión. La válvula de control de caudal es gobernada por la unidad de control a través de su conexión eléctrica, regulando el paso de combustible hacia la zona de alta presión. La regulación de la presión la realiza la válvula de control de caudal abriendo y cerrando la admisión de combustible desde el circuito de baja presión. Por otro lado, la válvula de limitación de presión acota la presión máxima en la zona de alta presión a unos 250 bar, produciendo un by-pass a la zona de baja presión. Las diferencias de volumen debidas a los cambios de temperatura, producidas en el elemento de bombeo, pueden corregirse con el compensador térmico, conectado a la admisión de aceite de la bomba. El émbolo de presión es movido por el disco oscilante y comprime aceite en su carrera ascendente contra la membrana metálica. De esta forma, la membrana aumenta su volumen y reduce el espacio de la cámara de combustible. Consecuentemente, la presión de combustible aumenta y se le obliga a salir hacia la rampa de inyección, a través de la válvula de retención de alta presión.

- **Inyectores:** los inyectores que pueden instalar los sistemas de inyección directa de gasolina son de dos tipos:
  - **Electromagnéticos:** los inyectores electromagnéticos, cuya constitución y funcionamiento se muestran a través de la Figura 10.136, pulverizan el combustible en el interior del cilindro. Al igual que otros inyectores de este tipo empleados en otros sistemas de inyección electrónica, la unidad de control excita un bobinado que genera un campo magnético, necesario para atraer el inducido o aguja, permitiendo el paso de combustible hacia el cilindro. El inyector tiene que introducir el combustible en un tiempo mínimo, finamente pulverizado y de manera uniforme. Para que los inyectores abran lo más rápidamente posible, la unidad de control incorpora dos condensadores, llamados «booster», que generan una tensión de excitación

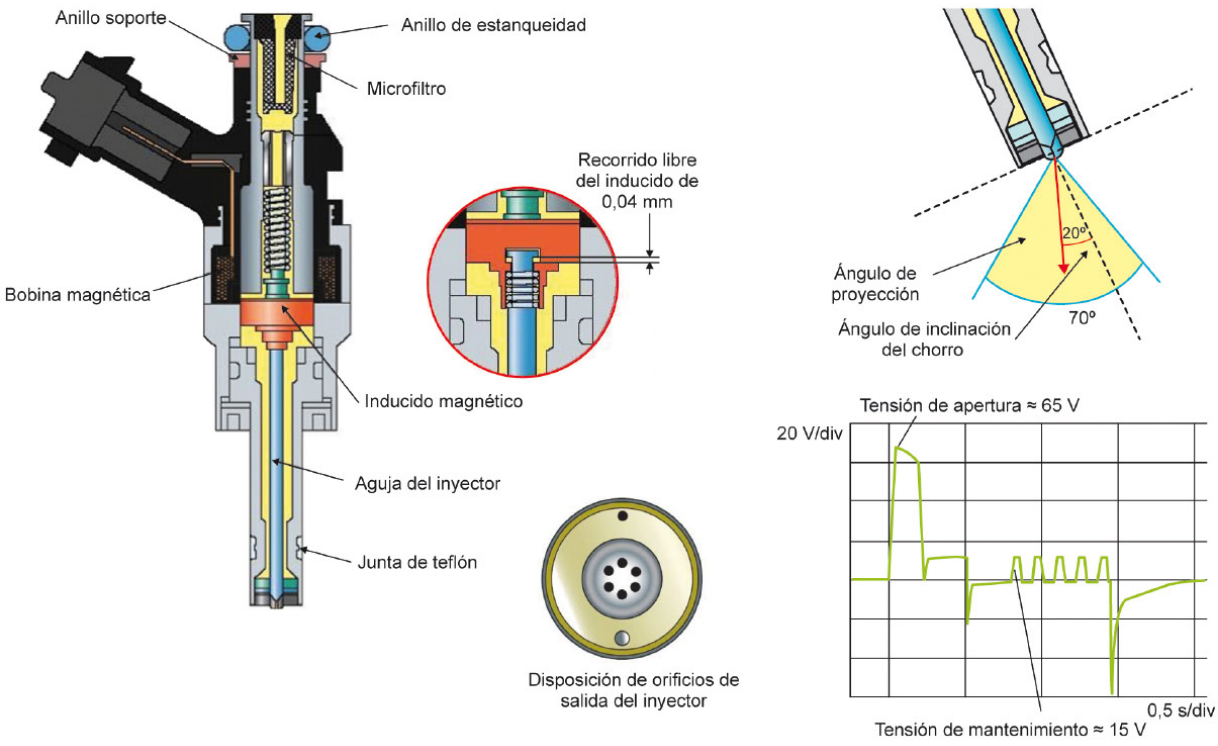


Figura 10.136. *Constitución y funcionamiento de un inyector electromagnético.*

© Ediciones Paraninfo

de 65 V. Para reducir la inercia del conjunto, la aguja se desacopla del inducido, introduciendo entre ambos un juego de aproximadamente 0,04 mm. Gracias a este juego, la inercia inicial disminuye, levantándose con cierto retardo la aguja del inyector. Muchos inyectores tienen determinados ángulos definidos, como el de proyección y el de inclinación, con el fin de realizar la mezcla de gasolina y aire en unas zonas bien definidas dentro de la cámara de combustión.

– **Piezoeléctricos:** este tipo de inyector suele proyectar un chorro cónico y permite unas presiones de inyección de hasta 200 bar. Normalmente se instala en la culata, adoptando una posición central junto a la bujía de encendido. En la Figura 10.137 puede verse el aspecto exterior y los elementos principales de un inyector piezoeléctrico. La aguja del inyector es abierta hacia el exterior, gracias a la dilatación sufrida por el elemento piezoeléctrico al aplicarle una tensión, gobernada por la unidad de control. Para que el alzado de la aguja se produzca siempre de la misma forma, independientemente de la temperatura, el inyector dispone de un compensador térmico. La forma de la aguja y su apertura hacia el exterior, hace que se proyecte un cono uniforme. Por otro lado, el empleo de un elemento piezoeléctrico hace que la apertura y cierre del inyector se produzca muy rápidamente.

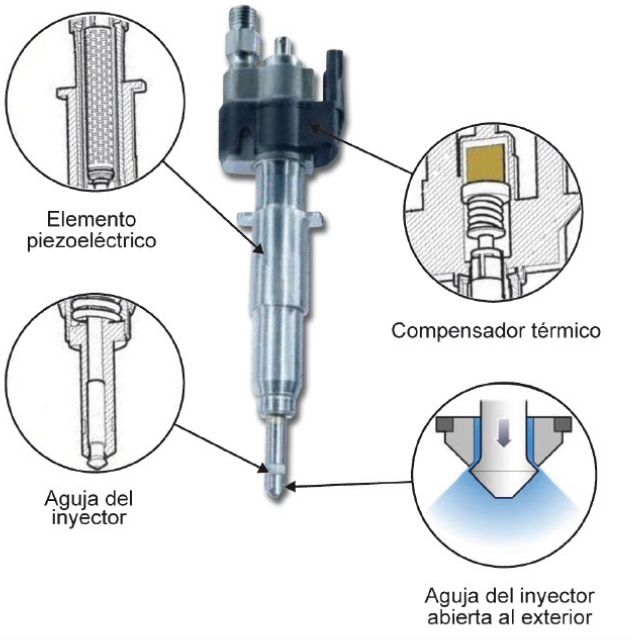
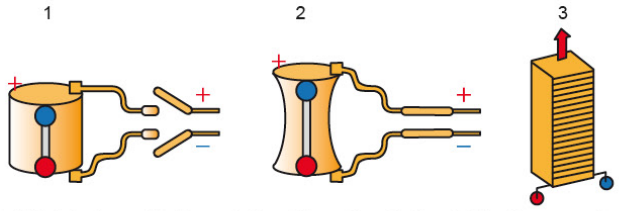


Figura 10.137. *Aspecto exterior y elementos principales de un inyector piezoeléctrico.*

El principio de funcionamiento del elemento piezoeléctrico se explica a través de la Figura 10.138. Está formado por capas de material cerámico piezoeléctrico, dispuestas



1. Cristal piezoeléctrico sin tensión aplicada (posición de reposo).
2. Cristal piezoeléctrico con tensión aplicada (dilatación del cristal).
3. Estructura estratificada del cristal piezoeléctrico.

Figura 10.138. *Principio de funcionamiento del elemento piezoeléctrico.*

físicamente en serie pero eléctricamente están conectadas en paralelo. Su dilatación dependerá de la tensión aplicada, por lo que a mayor tensión, mayor elongación.

- **Forma de la inyección:** los sistemas de inyección directa de gasolina tienen dos formas principales de realizar la inyección:

  – **Guiada por pared:** con este sistema, mostrado en la Figura 10.139, los inyectores introducen el combustible a una presión de unos 120 bar, sobre la cabeza del pistón, donde, debido a su forma, es dirigido hacia la bujía de encendido. La configuración del deflector del pistón y la inclinación del inyector, permiten formar una mezcla estratificada.

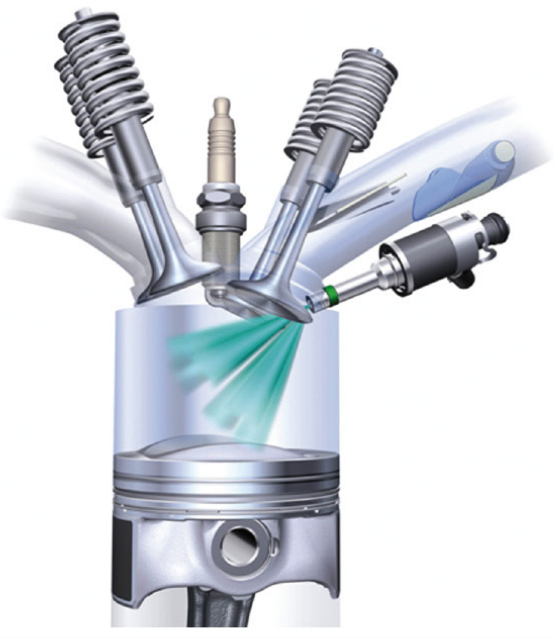


Figura 10.139. *Método de inyección directa guiada por pared.*

– **Chorro cónico:** este método, representado en la Figura 10.140, necesita la instalación de inyectores de apertura de aguja hacia el exterior. El inyector se dispone en el

© Ediciones Paraninfo

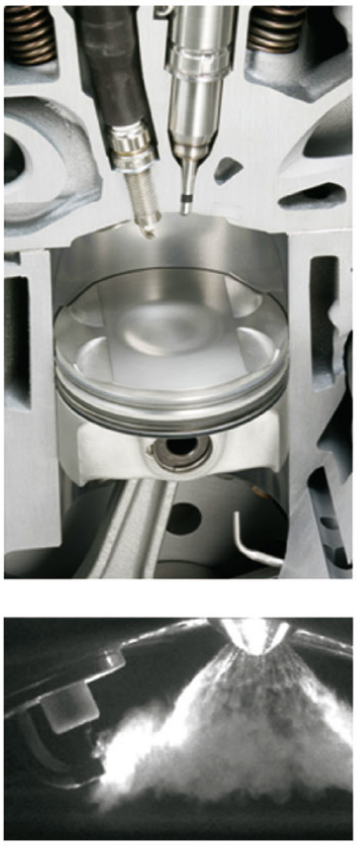


Figura 10.140. *Método de inyección directa por chorro cónico.*

centro de la cámara de combustión y la bujía próxima a él, normalmente inclinada hacia el lado de escape. Los inyectores suelen ser de tipo piezoeléctrico, pudiendo alcanzar presiones de inyección de 200 bar, por lo que se obtiene una nube de mezcla estable en cualquier condición operativa del motor. La rapidez de apertura ofrecida por el elemento piezoeléctrico hace posible realizar inyecciones múltiples en un mismo ciclo.

- **Estrategia de inyección:** en los motores de inyección directa de gasolina existen diversas estrategias posibles para realizar la inyección. A continuación se va a explicar la utilizada en el sistema Bosch Motronic MED 7, aplicada en uno de los motores FSI del grupo VAG. FSI significa *Fuel Stratified Injection* o inyección estratificada de combustible. En la Figura 10.141 aparecen los elementos más significativos, necesarios para trabajar en tres modos operativos básicos, que se explicarán posteriormente. En ella se puede apreciar el cuerpo inferior del colector de admisión, unido a la rampa de inyección, que consta de cuatro chapaletas controladas por la unidad de control gracias a un motor eléctrico y cuya posición es conocida por un potenciómetro. La posición de las chapaletas es de vital importancia a la hora de formar la mezcla. Con poca carga del motor, la masa de aire admitida se dirige hacia el interior del cilindro por la parte superior de la pletina para el efecto «tumble», gracias a la posición de cierre adoptada por las chapaletas, provocando una turbulencia circular que recibe también el nombre de «tumble». De esta forma, se consigue favorecer la recirculación interna de gases de escape, mejorar el rendimiento y disminuir el consumo. A medida que aumenta la carga, las chapaletas se abren y el aire entra también por la parte inferior de la pletina, mejorando el llenado y aumentando consecuentemente el par y la potencia.

Este motor trabaja con tres modos operativos, representados en la Figura 10.142 y explicados a continuación.

La estratificación de la mezcla significa que en el entorno más próximo a la bujía se obtiene una mezcla rica y a medida que se aleja de esta hacia las paredes del cilindro se va empobreciendo.

Sabías que...

Con el método de inyección directa guiada por pared se puede ahorrar hasta un 5 % de combustible y con el de chorro cónico hasta un 10 %, comparando con otros sistemas convencionales de inyección de gasolina.

Recuerda que...

$$F = \frac{\text{masa de combustible}}{\text{masa de aire}}$$

$$F_e = \left(\frac{\text{masa de combustible}}{\text{masa de aire}}\right)_e$$

$$F_R = \frac{F}{F_e}$$

Siendo F el dosado absoluto, F_e el dosado estequiométrico y F_R el dosado relativo. La mezcla es homogénea cuando el dosado relativo es igual a 1. Si se tiene en cuenta el dosado relativo desde el punto de vista de la relación aire-combustible, se obtiene el factor Lambda (λ). Cuando el motor funciona con mezcla estequiométrica, λ es igual a 1. En este caso, $F_R = \lambda = 1$, ya que el valor del numerador y del denominador es el mismo, pero para otras relaciones de mezcla hay que tener en cuenta si el dato se da desde el punto de vista de la relación combustible-aire o de aire-combustible.

© Ediciones Paraninfo

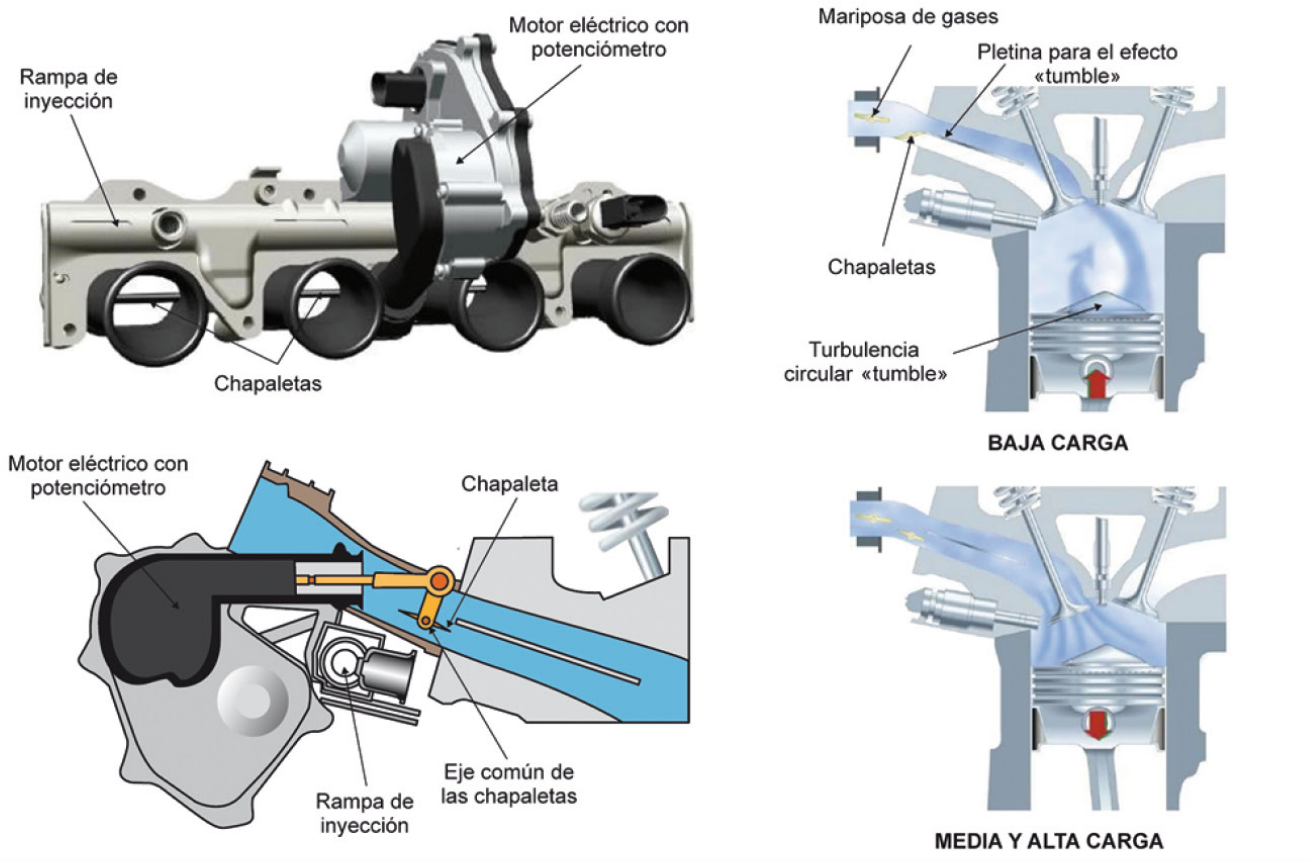


Figura 10.141. *Elementos más significativos de la estrategia de inyección del sistema Bosch Motronic MED 7.*

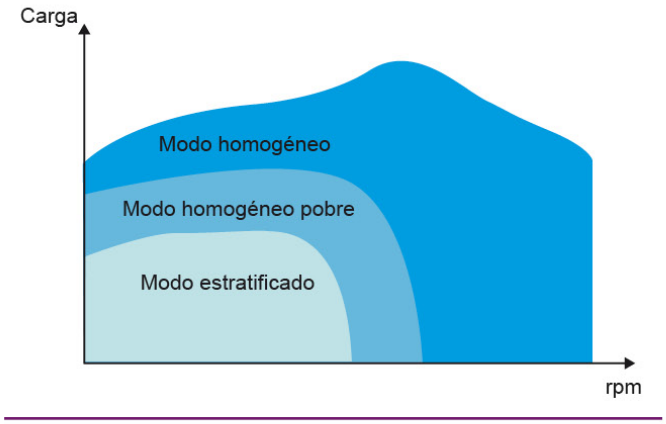


Figura 10.142. *Mapa de funcionamiento del motor FSI en función de sus tres modos operativos.*

– **Modo estratificado:** el motor trabaja en este modo cuando opera a bajos-medios niveles de carga y régimen de giro. La estratificación de la mezcla en el interior del cilindro hace que se tenga un factor λ total que oscila entre 1,6 y 3. Se obtiene una mezcla rica en las proximidades de la bujía y una mezcla pobre según se aleja de ella, formada por aire de admisión y gases de escape recirculados. Para que la unidad de control conmute al modo estratificado es necesario que se den las siguientes condiciones:

» Motor funcionando a un nivel de carga y régimen correspondiente al modo estratificado.

» Inexistencia de averías importantes en la gestión de los gases de escape.

» Temperatura del líquido refrigerante superior a 50 °C.

» Sensor de óxidos de nitrógeno (NO_X) operativo.

» Temperatura del catalizador-acumulador de NO_X superior a 250 °C.

Si se cumple lo anterior, el modo se desarrolla según las fases representadas en la Figura 10.143, descritas a continuación:

» *Admisión:* la mariposa de gases abre casi totalmente, ya que es necesaria una mínima depresión para el sistema de reciclaje de vapores del depósito de combustible y de recirculación de los gases de escape. La chapaleta está cerrada y el aire de admisión

© Ediciones Paraninfo

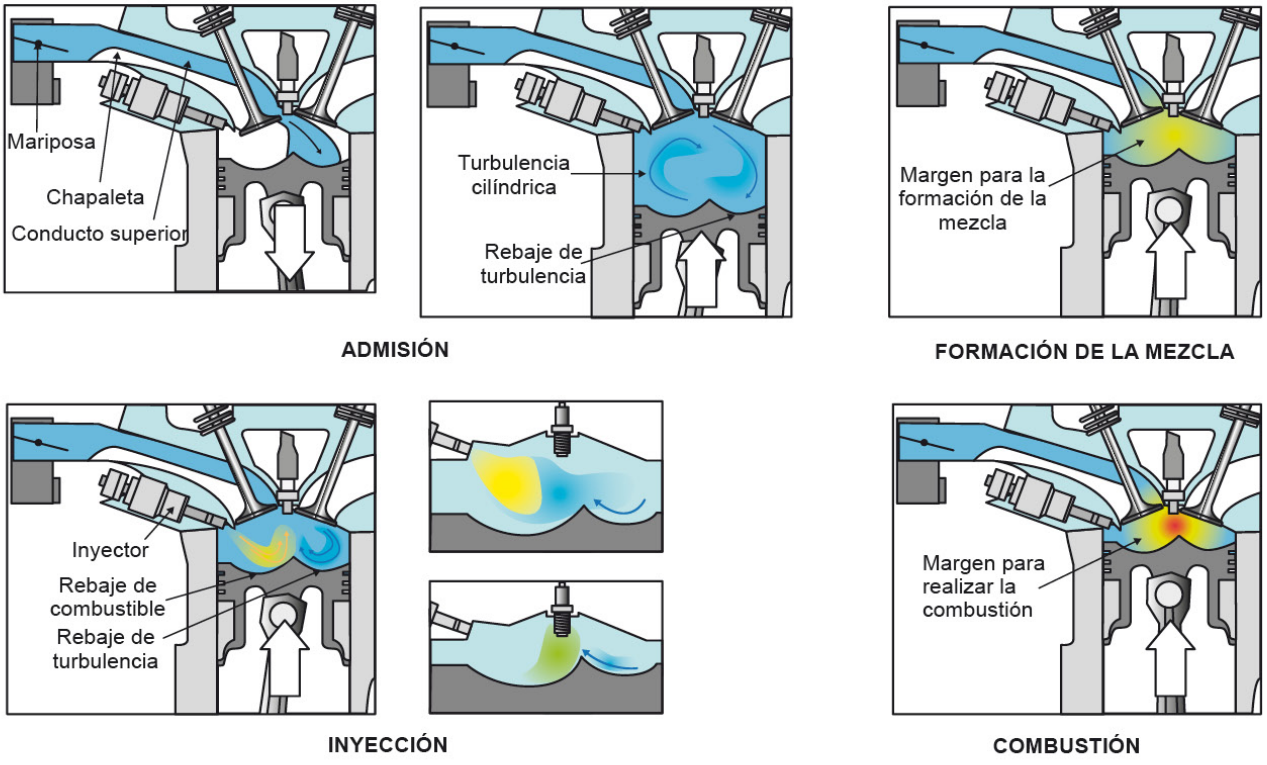


Figura 10.143. *Fases del modo estratificado.*

entra por el conducto superior, saliendo hacia el cilindro con turbulencia cilíndrica (tumble), que se potencia debido a la forma de la cabeza del pistón.

» *Inyección:* la inyección de gasolina se inicia en el último tercio de la carrera de compresión, unos 60° antes del PMS, finalizando 45° antes del PMS también. La gasolina es proyectada sobre el rebaje para el combustible practicado en el pistón. Esto, junto a la forma del cono de inyección, provoca que se dirija hacia la bujía. En el camino hacia esta, es mezclada con el aire aspirado proveniente del rebaje de turbulencia.

» *Formación de la mezcla:* el margen para la formación de la mezcla corresponde a unos 45° de giro del cigüeñal, debiendo estar muy bien calculado el inicio de la combustión. Si el tiempo entre el inicio de la inyección y el encendido es muy corto, la mezcla no tiene una preparación adecuada. Si es demasiado largo, se homogeneiza y pierde la estratificación. El factor λ en la cámara de combustión en esta fase es de 1,6 a 3.

» *Combustión:* esta fase se produce en un entorno cercano a la bujía y solo se inflama la nube de mezcla, actuando el resto de gases como una capa aislante.

Sabías que...

Al inflamarse únicamente la nube de mezcla y los demás gases actuar como una capa aislante que rodea el cilindro, aumenta el aislamiento térmico del mismo y se minimizan las pérdidas de calor. De esta forma se aprovecha más el calor resultante de la combustión para transformarlo en trabajo y el proceso es más adiabático, aumentando el rendimiento térmico.

En el modo estratificado, el motor de gasolina funciona como un motor diésel, es decir, admite únicamente aire y el combustible se inyecta al final de la carrera de compresión. Por otro lado, la mariposa de gases está prácticamente abierta del todo, por lo que la regulación de la carga se realiza modificando la cantidad de combustible inyectada, como en un motor diésel también.

El modo estratificado resulta útil en los motores de gasolina precisamente por el hecho de que la mariposa de gases permanezca prácticamente abierta. Uno de los mayores inconvenientes, en cuanto a rendimiento y consumo de combustible, que presentan los motores de gasolina es que a cargas parciales, la mariposa de gases supone una gran estrangulación al paso de aire, dificultando el llenado

© Ediciones Paraninfo

y aumentando el trabajo negativo que se produce en el lazo de renovación de la carga. Con este modo de funcionamiento se mejora notablemente la renovación de la carga.

De la misma forma que ocurre en los motores diésel, al realizar la inyección en la carrera de compresión, hay muy poco tiempo para formar la mezcla y realizar la combustión. Este hecho se agrava a medida que aumenta el régimen de giro, disminuyendo la eficiencia de la combustión. Por este motivo, el modo estratificado no resulta favorable a alto régimen, cuando se demanda potencia al motor. En este caso, la unidad de control conmutará al modo homogéneo.

– **Modo homogéneo pobre:** este modo de funcionamiento tiene lugar en la transición entre el modo estratificado y el homogéneo. En la cámara de combustión existe una mezcla homogénea, ya que está uniformemente repartida, y pobre, porque la relación es de aproximadamente $\lambda = 1{,}55$. En la Figura 10.144 pueden verse las cuatro fases principales de este modo, que son:

  » *Admisión:* en esta fase, la mariposa de admisión permanece abierta lo máximo posible, estando la chapaleta cerrada. Con esto se consigue disminuir el estrangulamiento causado por la mariposa de gases y la masa de aire entra con gran inercia.

  » *Inyección:* la introducción de la gasolina en el cilindro se produce en la fase de admisión, ajustando una proporción de mezcla $\lambda = 1{,}55$, aproximadamente.

  » *Formación de la mezcla:* en este modo de funcionamiento, se dispone de más tiempo para formar la mezcla hasta que salte la chispa en la bujía. Consecuentemente, se obtiene una mezcla homogénea dentro del cilindro.

  » *Combustión:* al tener una mezcla homogénea la combustión se inicia en la bujía y el frente de llama se propaga por igual por toda la cámara de combustión.

– **Modo homogéneo:** cuando se demanda al motor plena carga o plena potencia, es necesario pasar al modo homogéneo con mezcla estequiométrica o $\lambda = 1$. En estas circunstancias, el motor funciona como si tuviese un sistema de inyección indirecta multipunto, salvo que el combustible se introduce dentro del cilindro. En la Figura 10.145 están representadas las fases del modo homogéneo, que son:

  » *Admisión:* la regulación de la carga se lleva a cabo con la posición de la mariposa de gases. En el modo

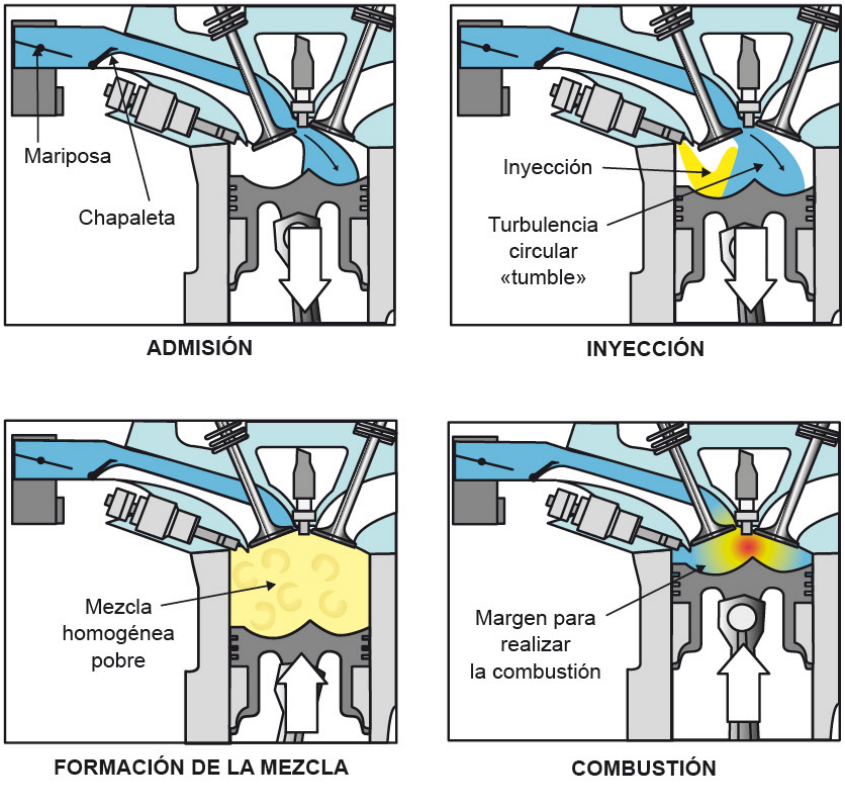


Figura 10.144. *Fases del modo homogéneo pobre.*

© Ediciones Paraninfo

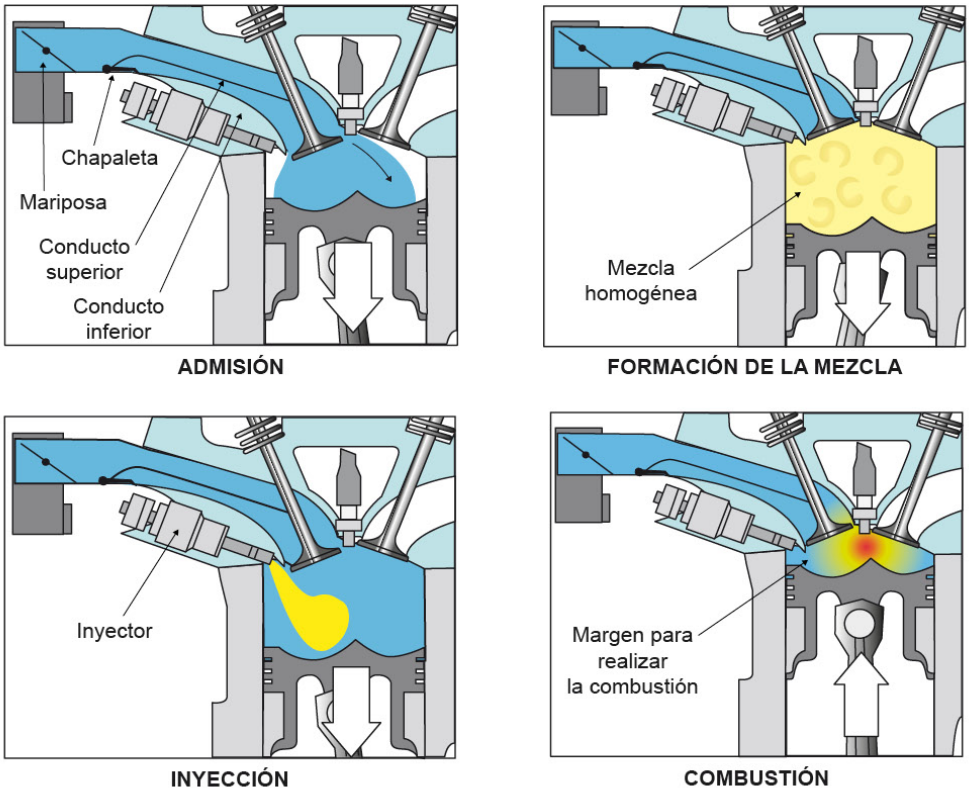


Figura 10.145. *Fases del modo homogéneo.*

homogéneo la chapaleta puede estar cerrada o abierta. Está cerrada a cargas y regímenes medios, para que el aire de entrada tenga una turbulencia circular. Está abierta a cargas y regímenes elevados, ya que la sección de paso del conducto superior resulta insuficiente.

» *Inyección:* el combustible se introduce dentro del cilindro, en la fase de admisión.

» *Formación de la mezcla:* al realizar la inyección en la fase de admisión, hay mucho tiempo disponible para formar la mezcla, por lo que es homogénea en todo el cilindro con una relación $\lambda = 1$.

» *Combustión:* el momento adecuado de salto de chispa en la bujía es determinante a la hora de tener un buen rendimiento del motor. Tras el inicio de la combustión, esta se propaga como un frente de llama uniforme por todo el cilindro.

Sabías que...

Dado que el combustible se inyecta directamente en el cilindro, es en él donde tiene lugar su volatilización. El paso a fase gaseosa del combustible extrae calor a la masa de aire entrante, enfriándola. Gracias a este hecho, disminuye la tendencia al picado de biela o detonaciones y se puede aumentar la relación de compresión, incrementándose el rendimiento hasta en un 10 %. Por este motivo, los motores de inyección directa de gasolina suelen tener una relación de compresión mayor que los convencionales, pudiéndose encontrar valores de 12,5:1, por ejemplo.

Hay motores de inyección directa de gasolina que solo trabajan en el modo homogéneo.

Es posible encontrar otros modos operativos que cumplan funciones específicas, explicando a continuación dos ejemplos:

– **Modo de precalentamiento del catalizador:** se emplea para acelerar el calentamiento del catalizador, situándolo rápidamente en la temperatura óptima de trabajo, que maximiza su rendimiento en el tratamiento de las emisiones contaminantes. Por otro lado, aumenta el par motor a bajo régimen. Consiste en realizar dos inyecciones, una en la fase de admisión, que ayuda a la homogeneización

© Ediciones Paraninfo

de la mezcla, y otra al final de la compresión, que provoca una combustión tardía y aumenta la temperatura de los gases de escape para calentar el catalizador.

– **Modo de plena carga:** en este modo también se realizan dos inyecciones, una en la fase de admisión, donde se introducen aproximadamente dos tercios del combustible necesario, y otra al inicio de la carrera de compresión, donde se introduce el tercio restante. Con esto se consigue una buena homogeneización y una mezcla ligeramente más rica en el entorno próximo a la bujía, mejorando la combustión y reduciendo la tendencia a la detonación.

- **Otros dispositivos:** la mayoría de elementos son similares a los de los sistemas de inyección electrónica multipunto secuencial más avanzados. De la misma forma, se pueden incorporar sistemas de admisión variable, de distribución variable, de sobrealimentación… En cualquier caso, hay que destacar en los sistemas de inyección directa dos dispositivos:

  – **Sistema de gestión del servofreno:** es posible que durante el funcionamiento en el modo estratificado, dado que la mariposa de gases está casi abierta por completo, no exista depresión suficiente en el colector de admisión para la asistencia del servofreno. Para evitar este fenómeno, la unidad de control recibe información de un sensor de presión, similar al sensor MAP, instalado en el conducto que une el colector de admisión con el servofreno. Si se detecta que no hay suficiente depresión, estando en el modo estratificado, la unidad de control cierra la mariposa de gases hasta alcanzar un nivel de depresión suficiente para el funcionamiento del servofreno. En caso necesario se conmuta al modo homogéneo. Muchos motores incorporan una bomba de depresión similar a las empleadas en los motores diésel.

  – **Catalizador-acumulador de NO_X:** un inconveniente que tiene el empleo de mezclas pobres es la producción de óxidos de nitrógeno (NO_X). Estos compuestos se producen por las elevadas temperaturas que se alcanzan en la cámara de combustión bajo ciertas condiciones y no pueden tratarse con los medios convencionales, como por ejemplo un catalizador de tres vías. Por este motivo es necesario el empleo de un catalizador-acumulador de NO_X.

Sabías que...

En los motores de inyección directa de gasolina es recomendable utilizar gasolina de 98 octanos para optimizar el rendimiento.

10.6.2. Evoluciones y otros sistemas

Los sistemas de inyección directa de gasolina empleados por los diferentes fabricantes se basan en los mismos principios y tienen elementos similares. A continuación se van a resumir las características más destacables de los motores de inyección directa de gasolina de algunos fabricantes:

- **Gama de motores GDI de Mitsubishi:** Mitsubishi fue uno de los primeros fabricantes en incorporar en sus vehículos de serie un sistema de inyección directa electrónica de gasolina, con los motores GDI (*Gasoline Direct Injection*). Los elementos básicos de este tipo de motores son los que aparecen en la Figura 10.146. Este motor puede funcionar en modo homogéneo y estratificado. Lo más destacable de este sistema es la disposición vertical del colector de admisión, que ayuda a que el aire entre con una elevada turbulencia cilíndrica, ayudada por el deflector labrado en la cabeza del pistón. Este fenómeno también evita la formación de carbonilla en la bujía, que puede ocasionar falsas explosiones. Cabe destacar que muchos de estos motores incorporan un medidor de la masa de aire de tipo Karman Vortex.

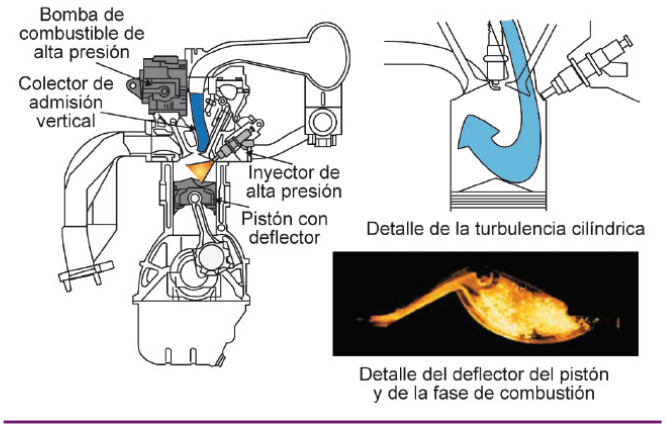


Figura 10.146. *Elementos característicos del motor GDI de Mitsubishi.*

- **Gama de motores HPI de BMW:** los sistemas HPI (*High Precision Injection*) de BMW más actuales incorporan inyectores piezoeléctricos de apertura de aguja hacia el exterior, para proyectar un cono uniforme, como muestra la Figura 10.147. Además suelen instalar una bomba de vacío para el servofreno y otros consumidores secundarios. Pueden funcionar en modo homogéneo y estratificado. Aparte del sistema de inyección directa, es habitual que se monten sistemas de admisión variable, de distribución variable, de sobrealimentación…

© Ediciones Paraninfo

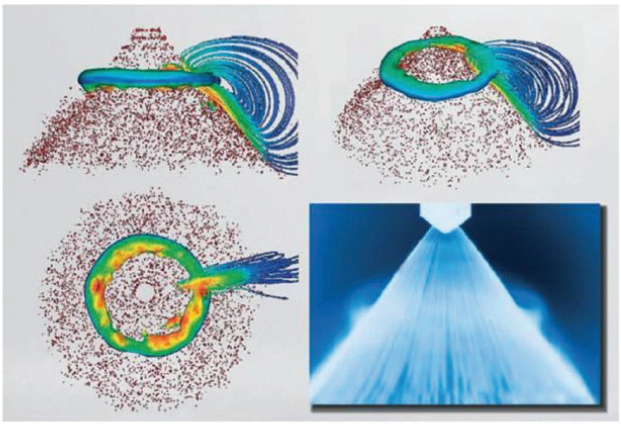


Figura 10.147. *Forma del cono uniforme de inyección de un motor HPI.*

- **Gama de motores de inyección directa de Mercedes-Benz:** al igual que BMW, los sistemas más evolucionados instalan inyectores piezoeléctricos de apertura de aguja hacia el exterior, pudiendo funcionar en modo homogéneo y estratificado.
- **Gama de motores TSI y TFSI del grupo VAG:** estos motores son una evolución de los FSI, que incorporan sobrealimentación. Pueden montar un turbocompresor o un sistema de compresor mecánico y turbocompresor. Estos motores suelen funcionar únicamente con mezcla homogénea.
- **Gama de motores SCC de Saab:** el sistema SCC (*Saab Combustion Control*) de inyección directa de gasolina puede modificar también el tramo de descarga de la chispa. Esto es posible al integrar los inyectores y la bujía en una unidad llamada SPI (*Spark Plug Injector*), como muestra la Figura 10.148. Con la variación del tramo de descarga de la chispa se consigue una tensión de encendido muy alta. La longitud del tramo oscila entre 1 y 3,5 mm, según las necesidades del motor. Además, el inyector introduce la gasolina en el interior del cilindro ayudada de aire comprimido. Estos motores funcionan con mezcla estequiométrica.
- **Gama de motores HPI del grupo PSA:** normalmente estos motores pueden funcionar en modo homogéneo y estratificado, empleando el sistema de inyección guiada por pared con inyectores de accionamiento electromagnético.
- **Gama de motores IDE de Renault:** la estrategia de inyección en estos motores se reduce al modo homogéneo. La disposición del inyector es central y la de la bujía lateral. El aire admitido sufre una turbulencia cilíndrica apoyada por la forma de la cabeza del pistón. Al utilizar únicamente el modo homogéneo, se puede prescindir del catalizador-acumulador de NO_X.
- **Gama de motores del grupo FIAT:** en este caso se pueden distinguir dos generaciones de motores:
  - **Gama JTS:** los motores JTS (*Jet Thrust Stoichiometric*) pueden trabajar en modo estratificado y homogéneo. El modo estratificado solo se realiza a regímenes de hasta 1500 rpm, inyectando el combustible al final de la compresión de forma tangencial sobre la cabeza del pistón, que lo redirige hacia la bujía. El modo homogéneo tiene lugar en el resto de condiciones operativas del motor. El motor funciona en estos dos modos bien diferenciados, o con una relación $\lambda = 1$ o $\lambda = 2$, aproximadamente,

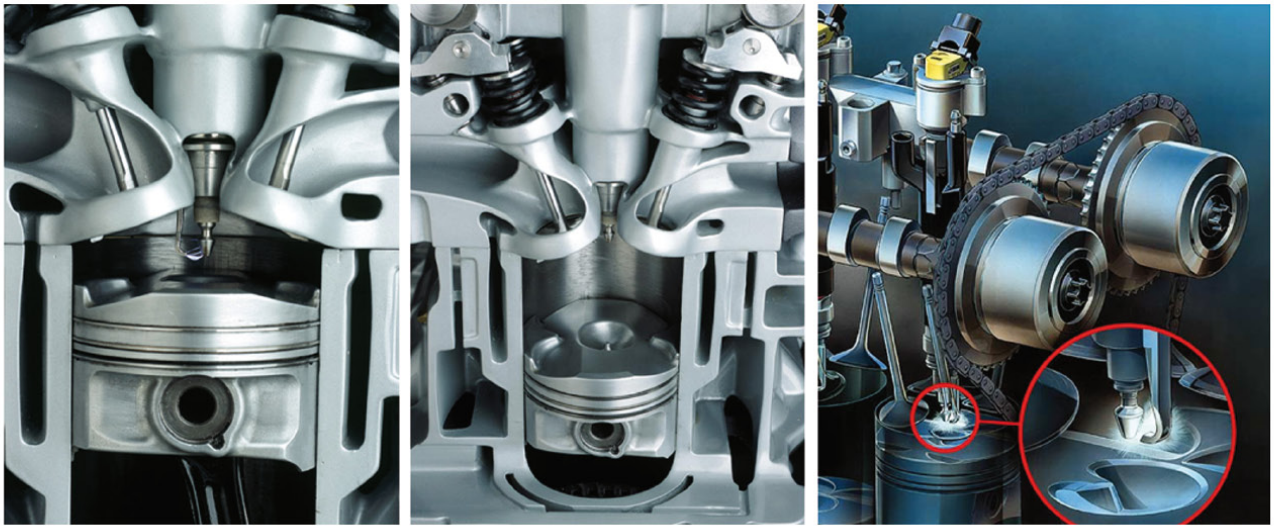


Figura 10.148. *Sistema SCC de Saab.*

© Ediciones Paraninfo

no obteniéndose situaciones intermedias. Dado que emplea mezcla pobre solo hasta 1500 rpm, no necesita catalizador-acumulador de NO_X.

- **Gama Multiair:** estos motores de última generación incorporan un sistema de distribución variable de las válvulas de admisión que permite prescindir de la mariposa de gases, al controlar de forma muy precisa la masa de aire admitida en todo momento. Por este motivo solo funcionan con mezcla estequiométrica y tampoco es necesario el catalizador-acumulador de NO_X.

- **Sistemas con doble inyección, directa e indirecta:** actualmente existen nuevas tecnologías en materia de inyección electrónica de gasolina que combinan la inyección directa y la inyección indirecta. Un ejemplo sería uno de los motores de la gama TFSI del grupo VAG. Es un motor de cuatro cilindros en línea que incorpora dos rampas de inyección, una de baja presión para realizar una inyección indirecta, y otra de alta presión para realizar una inyección directa. Tanto en el modo de funcionamiento con inyección directa como en el de inyección indirecta, el motor trabaja con mezcla homogénea, es decir, $\lambda = 1$. Los elementos principales de este sistema se integran en el colector de admisión, mostrado en la Figura 10.149.

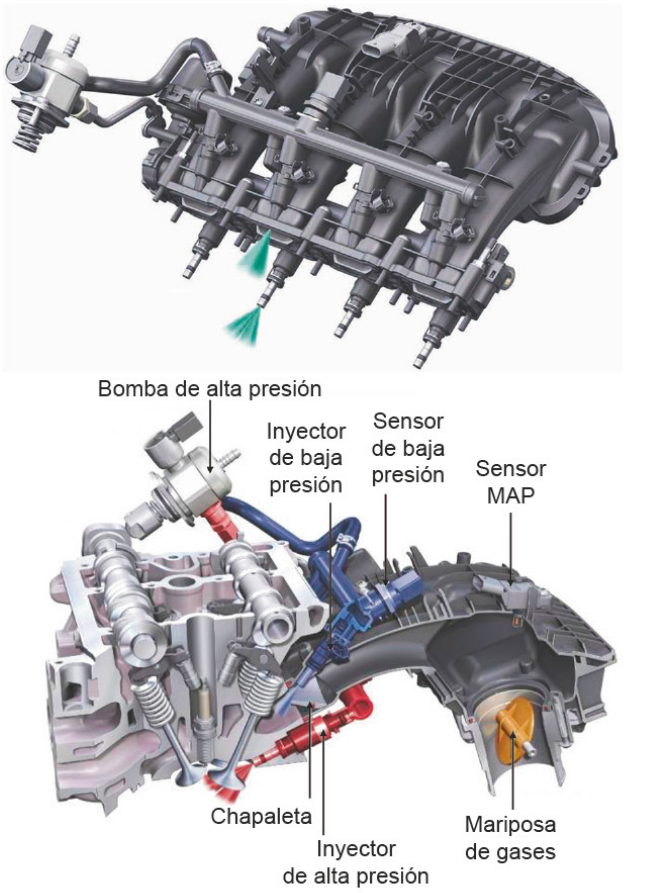


Figura 10.149. *Elementos principales del sistema de doble inyección, directa e indirecta.*

El motor funciona en modo de inyección indirecta a cargas parciales, inyectando el combustible al final del colector de admisión, antes de las chapaletas de turbulencia y próximo a las mismas. Las chapaletas de turbulencia hacen que el combustible se mezcle intensamente con el aire, mejorando la homogeneización. El combustible llega a los inyectores de baja presión a través de una conexión con la bomba de alta presión, que lo suministra a la presión adecuada y a su vez contribuye a la refrigeración de la bomba. Los inyectores se conectan a una rampa de plástico que integra un sensor de baja presión, cuya información es enviada a la unidad de control del motor para calcular el tiempo de inyección.

El sistema de chapaletas del colector de admisión tiene un sensor de posición angular, que sirve para que la unidad de control establezca la posición de las chapaletas. Para ello, excita una electroválvula que gestiona el vacío aplicado sobre una válvula neumática que acciona el eje sobre el que están las chapaletas.

El motor trabaja en el modo de inyección directa en la fase de arranque y a cargas muy elevadas. En el modo de inyección directa se pueden hacer tres inyecciones por ciclo, especialmente durante la fase de arranque en frío a temperaturas extremadamente bajas y a lo largo de la fase de calentamiento con gran demanda de carga. Por otro lado, para minimizar el tiempo de calentamiento del catalizador se pueden realizar dos inyecciones por ciclo.

En otras condiciones operativas del motor se inyecta una vez por ciclo. Los inyectores para el modo de inyección directa trabajan a unos 200 bar y son de seis orificios.

El motor combina dos tipos de sistemas de distribución variable, el Valvelift y el variador celular de aletas, además de un turbocompresor.

Con todos estos dispositivos, se reduce el consumo de combustible y la emisión de partículas, especialmente para cumplir la restrictiva norma Euro 6.

10.6.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones

Las operaciones de mantenimiento de los sistemas de inyección directa son similares a las de otros sistemas de alimentación de gasolina.

En cuanto a las comprobaciones del sistema, hay que

© Ediciones Paraninfo

tener en cuenta que la configuración de elementos y valores de referencia pueden variar de un fabricante a otro o entre diferentes modelos del mismo fabricante. En cualquier caso, a continuación se resumen las intervenciones más usuales:

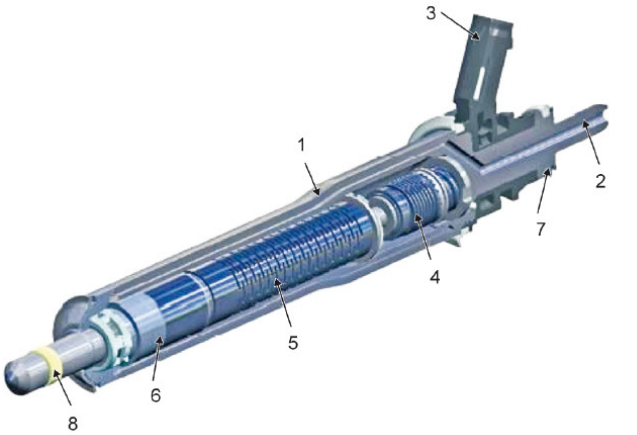
- **Comprobación de las presiones en el circuito de baja presión:** si los valores no son correctos, se revisarán los conductos, el filtro, el regulador de presión y la bomba.
- **Comprobación de las presiones en el circuito de alta presión:** antes de hacer cualquier intervención en el circuito de combustible, especialmente en el de alta presión, hay que tomar las siguientes precauciones:
  - Los trabajos deben realizarse con el motor frío o con la temperatura del líquido refrigerante a menos de 40 °C.
  - Hay que considerar que puede salir combustible a presión debido a la presión residual existente tras parar el motor.
  - Se debe trabajar con la máxima limpieza y siguiendo la secuencia de operaciones prescrita, para evitar la entrada de impurezas y evitar fallos de estanqueidad.
  - Las bobinas de encendido no deben entrar en contacto con la gasolina, ya que disminuye su aislamiento eléctrico.

  Lo primero que hay que hacer es observar si existen fugas en el circuito. Las presiones se pueden comprobar con un manómetro, teniendo en cuenta la escala, ya que se trabaja a presiones superiores que en los sistemas de inyección convencionales. También se puede utilizar la máquina de diagnosis, tomando medidas a diferentes condiciones de funcionamiento del motor y comparándolas con los valores de referencia del fabricante. Se debe comprobar la alimentación, la masa y la forma de la señal del sensor y del regulador de alta presión. La bomba debe suministrar el caudal adecuado para todas las condiciones operativas del motor.

  En cuanto a los inyectores, se debe registrar la señal de los mismos, ya sea con un osciloscopio o con la máquina de diagnosis. La señal de mando debe tener la forma prescrita por el fabricante.
- **Comprobación de los gases de escape:** tras cualquier operación, hay que medir las emisiones contaminantes de los gases de escape con un analizador de gases. Los valores deben estar dentro de los límites del fabricante y los marcados por la ley.

Si por avería hay que sustituir algún componente, es necesario tener en cuenta ciertos aspectos de algunos elementos:

- **Sustitución de inyectores:** si fuera necesario sustituir un inyector, hay que reemplazar las juntas de teflón, pudiendo ser necesario un utillaje específico. Normalmente el fabricante suministra un kit de reparación que incluye el elemento de fijación, los anillos de estanqueidad, los anillos de soporte y la junta de teflón. En el caso de los inyectores piezoeléctricos ocurre lo mismo, mostrando la Figura 10.150 algunos elementos de este tipo de inyectores, incluyendo el anillo toroidal y el anillo de teflón. Durante el procedimiento de sustitución hay que tener en cuenta lo siguiente:
  - Al instalar un anillo de teflón nuevo, el inyector debe montarse lo más rápido posible para que el anillo no se hinche.
  - El asiento del inyector debe estar en perfecto estado.
  - El soporte inferior del inyector debe estar bien apoyado.
  - Nunca debe limpiarse la punta de la aguja del inyector.



1. Cuerpo del inyector.
2. Entrada de combustible a alta presión.
3. Conexión eléctrica.
4. Módulo compensador del juego longitudinal.
5. Cristal piezoeléctrico.
6. Módulo del inyector.
7. Anillo toroidal
8. Anillo de teflón.

Figura 10.150. *Elementos de un inyector piezoeléctrico.*

Se puede detectar una avería en el inyector observando el estado de las bujías de encendido. Estas pueden deteriorarse por un ángulo del cono de inyección inadecuado, como muestra la Figura 10.151.

Debido a las tolerancias en la fabricación del inyector, la cantidad de combustible inyectada realmente varía de la teórica. Estas tolerancias se determinan en fábrica, calculándose un valor de compensación que se imprime en un código en la parte superior del inyector. Este código debe conocerlo la unidad de control para ajustar la cantidad de combustible a inyectar. Cuando se sustituye un inyector, debe grabarse este código en la unidad de control empleando la máquina de diagnosis, asegurándose que el código pertenece al inyector del cilindro correspondiente.

© Ediciones Paraninfo

Figura 10.151. *Daños en las bujías causadas por un cono de inyección inadecuado.*

- **Sustitución de la unidad de mando de la mariposa de gases:** en el caso de sustituir la unidad de mando de la mariposa, cuando se cambie la unidad de control o si se reemplaza el motor completo, hay que adaptar la unidad de mando de la mariposa con la máquina de diagnosis, siguiendo los pasos marcados por el fabricante.
- **Sustitución del potenciómetro de las chapaletas del colector de admisión:** en los motores que instalan chapaletas en el colector de admisión, estas son gobernadas por un motor eléctrico y su posición es reconocida por medio de un potenciómetro. Tras la sustitución de algún componente, es necesario que la unidad de control se sincronice con la posición de las chapaletas. Esta operación se realiza con la máquina de diagnosis.
- **Sustitución de la unidad de control:** al igual que ocurre con los sistemas más sofisticados de inyección indirecta secuencial, al sustituir la unidad de control es preciso llevar a cabo las siguientes operaciones con la máquina de diagnosis:
  - Grabación de los parámetros de la unidad de control anterior.
  - Codificación de la nueva unidad de control.
  - Codificación del inmovilizador.
  - Adaptación de la unidad de mando de la mariposa de gases.

10.7. Sistemas de alimentación a gas

Para reducir las emisiones contaminantes, en la actualidad existen numerosos vehículos cuyo motor funciona siguiendo el ciclo Otto, que pueden operar utilizando como combustible gas, o gasolina y gas, constituyendo estos últimos los llamados vehículos de propulsión bivalente gasolina-gas o de combustible flexible.

10.7.1. Tipos de gases

Existen fundamentalmente dos tipos de gases:

- **Gas natural:** dependiendo del país donde se obtenga, se compone de metano (CH_4) entre un 80 y un 99 %. El metano, a su vez, puede obtenerse de determinados procesos de fermentación biológica, como en los vertederos de basura, o por síntesis química del monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H). En función del poder calorífico, se distinguen dos tipos de gas natural, el gas L y el gas H, teniendo el segundo un valor superior al primero. Normalmente, en las estaciones de servicio suele haber identificaciones que distinguen el tipo de gas. Cuando se utiliza el gas natural como combustible, existen dos variantes:
  - **Gas natural comprimido:** también llamado CNG (*Compressed Natural Gas*). Consiste en utilizar como combustible gas natural comprimido en fase gaseosa, almacenándose en los depósitos del vehículo a unos 200 bar.

Sabías que...

El gas natural de tipo L contiene entre un 80 y un 88 % de metano (CH_4) y su poder calorífico oscila entre 10,5 y 13,0 kWh/m^3.

El gas natural de tipo H contiene entre un 88 y un 90 % de metano (CH_4) y su poder calorífico oscila entre 12,8 y 15,7 kWh/m^3.

© Ediciones Paraninfo

– **Gas natural licuado:** denominado LNG (*Liquified Natural Gas*). Se trata de emplear como combustible gas natural en forma líquida, reduciendo su volumen unas 600 veces, enfriándolo a −163 °C. Dado que este proceso conlleva un elevado coste energético, en la mayoría de aplicaciones para vehículos se emplea el gas natural comprimido.

- **Gas licuado de petróleo (GLP):** también conocido como LPG (*Liquified Petroleum Gas*). Es un subproducto de la industria petrolera y está formado por numerosos hidrocarburos volátiles provenientes de la extracción del petróleo y del gas natural. Estos hidrocarburos volátiles pasan a fase líquida si se someten a una presión de entre 2 y 8 bar, reduciendo su volumen unas 250 veces. El almacenamiento en los depósitos empleados para vehículos se lleva a cabo sometiendo el gas a una presión aproximada de 10 bar. Esto permite almacenar una gran cantidad de combustible en un espacio pequeño. La norma EN 589 tipifica la composición del GLP conforme a la Tabla 10.4. Cabe destacar que con clima frío, el funcionamiento del motor se optimiza utilizando GLP con mayor porcentaje en volumen de butano.

TABLA 10.4

% vol. Propano	% vol. Butano
80	20
70	30
65	35
60	40
55	45

10.7.2. Sistema de alimentación de gas natural

Los dispositivos adicionales con respecto al sistema de alimentación de gasolina están representados en la Figura 10.152 y son los siguientes:

- Toma de llenado de gas junto a la boca de llenado de gasolina, que incluye una válvula de retención y un filtro de malla metálico.

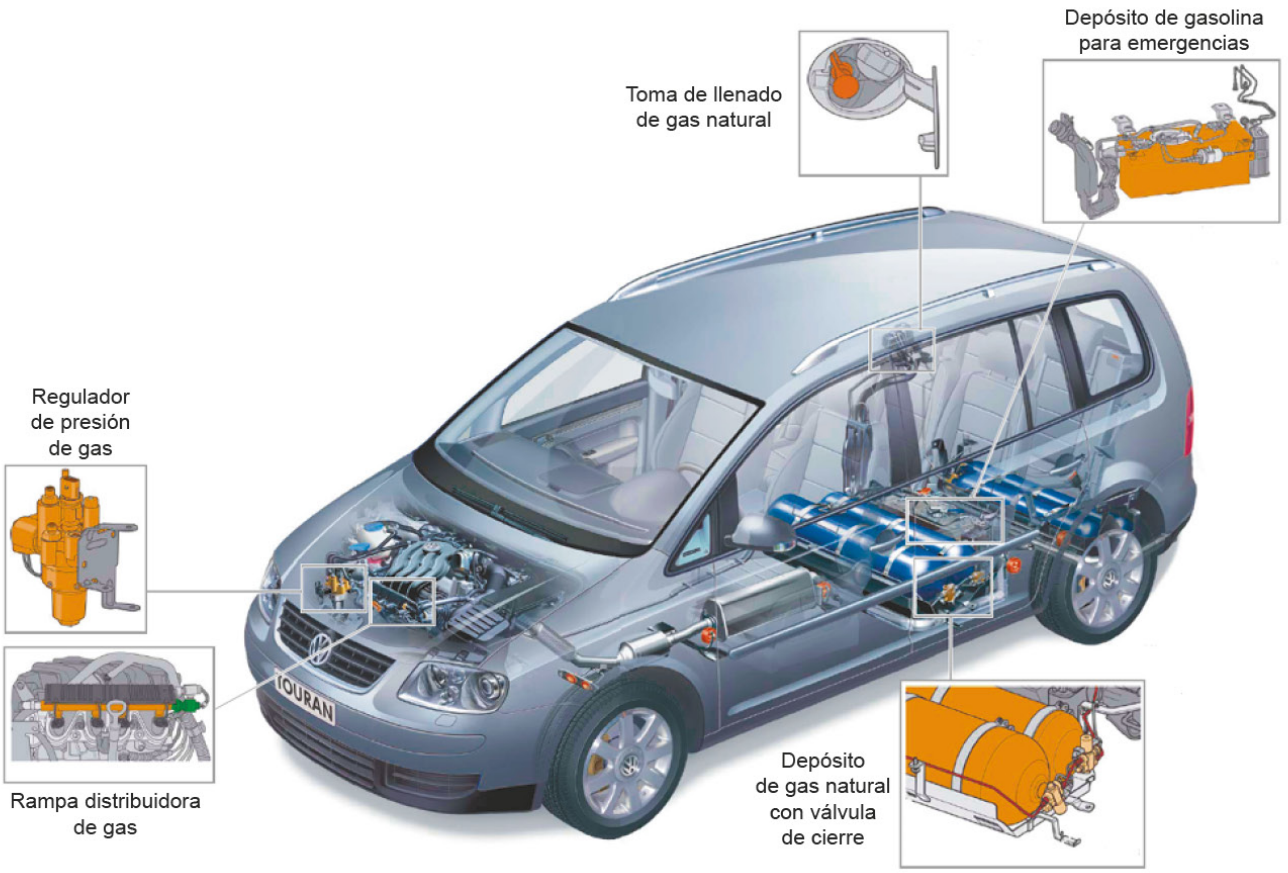


Figura 10.152. *Elementos adicionales para el funcionamiento con gas natural comprimido.*

© Ediciones Paraninfo

- Cuatro depósitos de gas natural comprimido bajo el piso del vehículo, cada uno de ellos con una válvula de cierre.
- Un regulador de presión de gas.
- Una rampa de gas con cuatro válvulas insufladoras del mismo y un sensor de presión.
- Un depósito de gasolina para situaciones excepcionales de poca capacidad.

Dado que el gas tiene un índice octano equivalente a 130, la relación de compresión del motor se puede aumentar hasta un valor de 13,5:1. Por este motivo, algunos componentes del motor se modifican, como la cabeza del pistón, que es plana.

Sabías que...

Dada la alta relación de compresión de este tipo de motores, la gasolina que ha de repostarse para optimizar el rendimiento del motor debe ser de 98 octanos.

El colector de admisión, esquematizado en la Figura 10.153, está formado por dos elementos:

- **Elemento superior:** es de plástico y se sitúa en la parte superior del motor. Incluye las válvulas insufladoras de gas y el sensor de presión en el colector de admisión.
- **Elemento inferior:** es de aluminio y en él se insertan los inyectores de gasolina para funcionar con este combustible en situaciones de emergencia.

La Figura 10.154 representa el sistema general de gas natural.

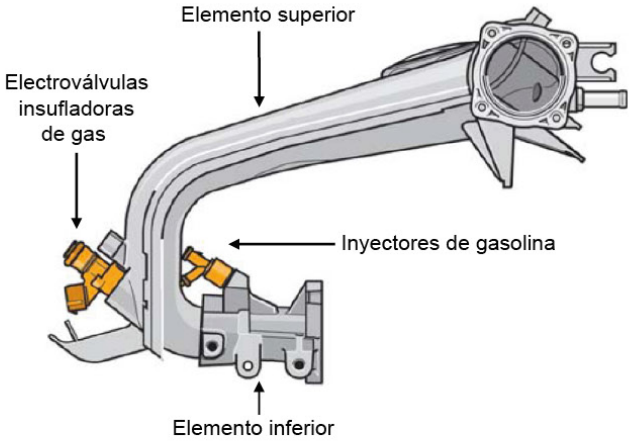


Figura 10.153. *Elementos del colector de admisión.*

A la vista del sistema general, a continuación se van a explicar las partes y elementos más importantes.

- **Tramo de alta presión:** a su vez consta de los siguientes elementos:
  - **Toma de llenado de gas:** a través de la misma se realiza el repostaje de gas, que ocurre de la siguiente forma. El gas entra por la toma de llenado, pasa por el filtro de malla metálica, por la válvula de retención y a través de la tubería llega hasta la válvula de cierre del primer depósito. Por un lado, entra el gas en el depósito, y por otro lado, vence la resistencia de otra válvula de retención que permite el paso hacia el segundo

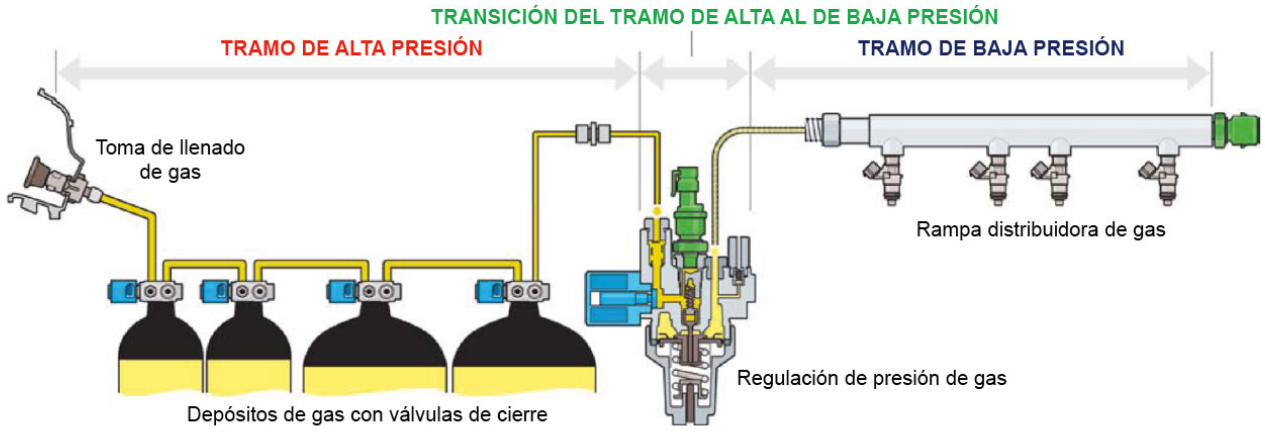


Figura 10.154. *Sistema general de gas natural.*

© Ediciones Paraninfo

depósito. Esto se produce de forma consecutiva en todos los depósitos, terminando el repostaje cuando en el tramo de alta presión se tiene el mismo valor de presión que en la estación de servicio, siendo este de unos 200 bar.

– **Tuberías de gas:** se diseñan para soportar presiones de hasta 1000 bar y se encargan de comunicar la toma de llenado con la válvula de cierre del primer depósito, las diferentes válvulas de cierre de los depósitos entre sí y la última válvula de cierre con el regulador de presión. Para asegurar la estanqueidad, a la hora de empalmar diferentes tramos, se disponen uniones de doble anillo de apriete por ambos lados, como puede verse en la Figura 10.155.

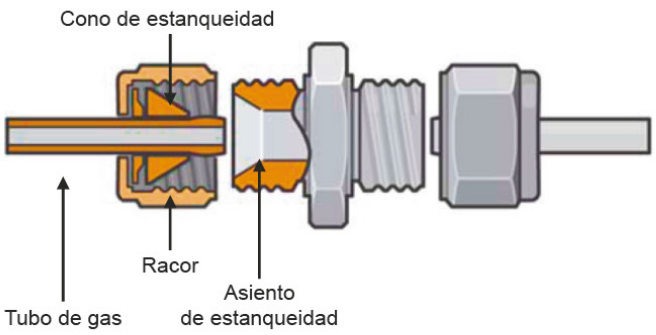


Figura 10.155. *Unión de dos tramos de tubería de gas.*

– **Depósitos de gas con válvulas de cierre:** el tamaño de los depósitos se diseña para optimizar el espacio disponible bajo el vehículo. Se instalan sobre unos armazones de acero resistentes, atornillados a la carrocería, sobre los que se sujetan los depósitos mediante cinturones metálicos revestidos de material plástico. El conjunto se protege con una carcasa de plástico. La Figura 10.156 representa la disposición de los depósitos.

– **Válvulas de cierre de los depósitos:** cada depósito de gas tiene una válvula de cierre cuyos elementos pueden observarse en la Figura 10.157, la cual sirve para explicar su funcionamiento en las siguientes circunstancias:

» *Repostaje de gas:* con el motor parado, la unidad de control del motor no envía corriente a las electroválvulas de corte de alimentación, permaneciendo estas en reposo. Cuando el gas repostado entra en el sistema a alta presión, este es capaz de levantar las agujas de las electroválvulas, venciendo la fuerza de sus respectivos muelles. En estas circunstancias, se abre el paso hacia el depósito de gas correspondiente. Cuando termina el repostaje, los muelles vuelven a cerrar el paso de gas hacia su depósito.

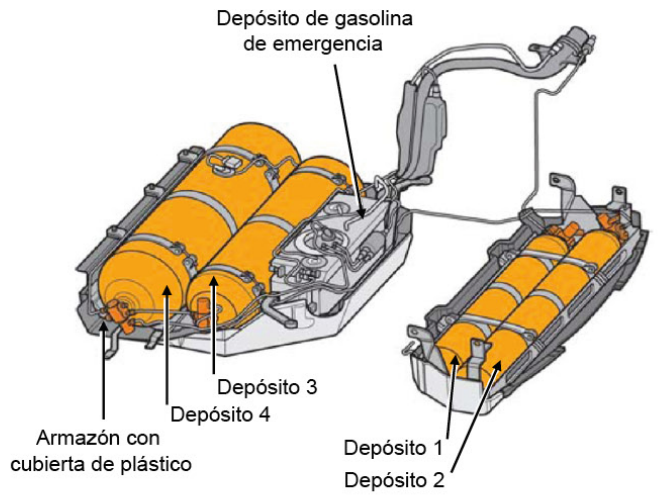


Figura 10.156. *Distribución de los depósitos de gasolina y de gas natural comprimido.*

» *Alimentación con gas natural:* durante el tiempo en que el motor está funcionando en el modo de alimentación con gas natural, la unidad de control del motor activa las electroválvulas de corte de alimentación, permitiendo el paso de gas natural hacia la válvula de cierre del siguiente depósito y así sucesivamente hasta el último, que da paso hacia el regulador de presión.

» *Limitación del caudal de paso:* en caso de daño en una de las tuberías, la presión cae bruscamente. Si la presión en el depósito es de al menos 2 bar superior a la de la tubería, el cono de estanqueidad del limitador de caudal de paso es oprimido contra su asiento, impidiendo la salida de gas.

» *En caso de avería:* si no es activada ninguna electroválvula de corte de alimentación, no es posible el funcionamiento con gas natural. Mientras que una de las electroválvulas funcione, suponiendo la avería del resto, el motor funciona con gas hasta que se agote el depósito asociado a esa electroválvula.

» *En caso de colisión:* la señal de colisión es enviada desde la unidad de control del Airbag hasta la unidad de control del motor vía CAN-BUS. En ese instante se desactivan todas las electroválvulas de corte de alimentación.

Las válvulas de cierre tienen otros dos elementos importantes:

» *Protector térmico:* está formado por una pequeña ampolla de vidrio que contiene un líquido y a

© Ediciones Paraninfo

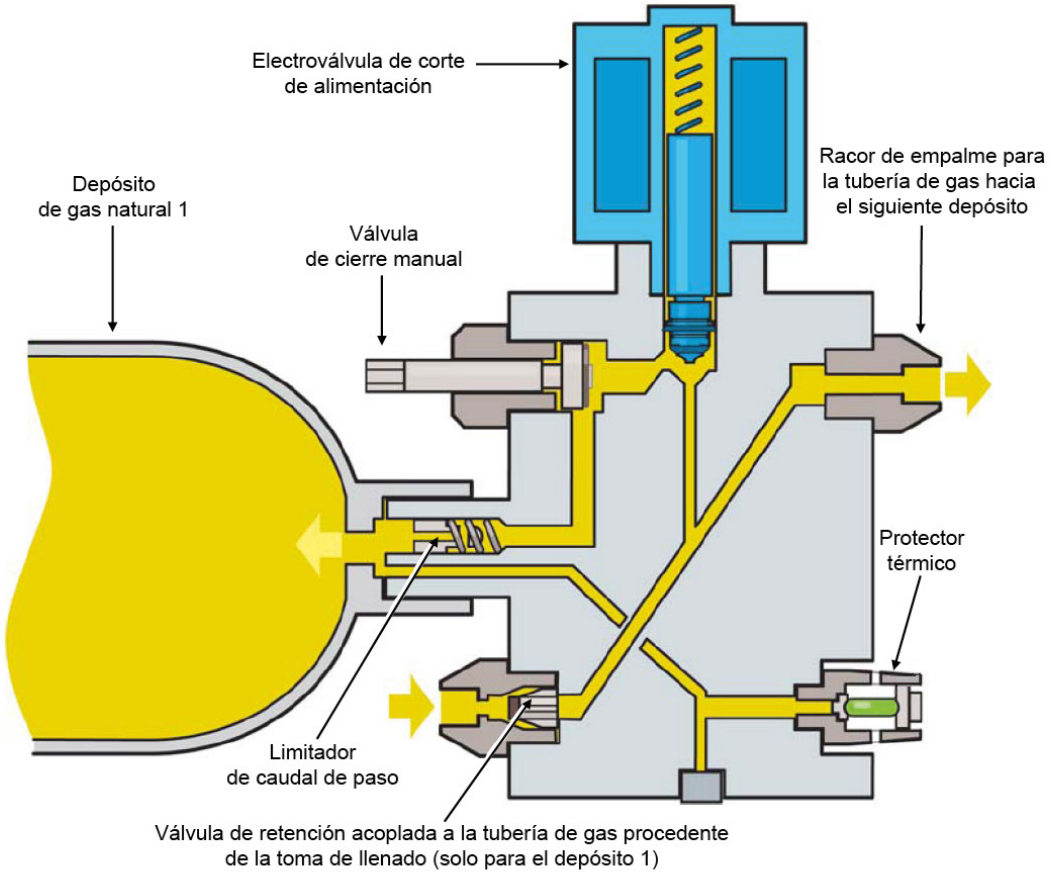


Figura 10.157. *Válvula de cierre del depósito y sus diferentes elementos.*

su vez cierra la salida de gas. Por encima de 110 °C, el líquido interior se expande y rompe la ampolla, permitiendo la salida controlada de gas al exterior, evitando el retroceso de llama en caso de existir un fuego en el exterior o que los depósitos revienten a causa de una gran cantidad de calor.

» *Válvula de cierre manual:* sirve para cerrar manualmente el depósito de gas, dejando el sistema estanco para operaciones de desmontaje y montaje.

- **Transición de alta a baja presión:** se realiza por medio del regulador de presión de gas natural, que tiene la función de reducir la presión de 200 a 6 bar, en una sola etapa reductora, separando el tramo de alta presión del de baja presión. A partir de la Figura 10.158 se va a explicar su constitución y funcionamiento, siendo sus elementos principales los siguientes:

  – **Electroválvula de alta presión para funcionamiento con gas:** se encarga de abrir o cerrar el paso de gas hacia la etapa reductora del regulador de presión. De esta forma, comunica o aísla los depósitos con el motor. Esta electroválvula se encuentra cerrada en estado de reposo, cuando no es activada por la unidad de control del motor.

  – **Sensor de presión en el depósito:** informa a la unidad de control del motor de la presión de gas natural en el tramo de alta presión, dando una idea del estado de llenado de los depósitos.

  – **Etapa reductora:** se encarga de reducir la presión del tramo de alta al tramo de baja presión. Cuando la electroválvula de alta presión es activada, permite el paso de gas a alta presión hacia el émbolo regulador de la cámara de alta presión. Este émbolo regulador se comunica con la cámara de baja presión a través de un diafragma sometido a la fuerza de un muelle. Mientras la presión del gas en la cámara de baja presión sea inferior a 6 bar, el muelle empuja el diafragma hacia arriba y a su vez el émbolo regulador. De esta forma, el émbolo regulador comunica la cámara de alta presión con la de baja presión, circulando el gas de la primera

© Ediciones Paraninfo

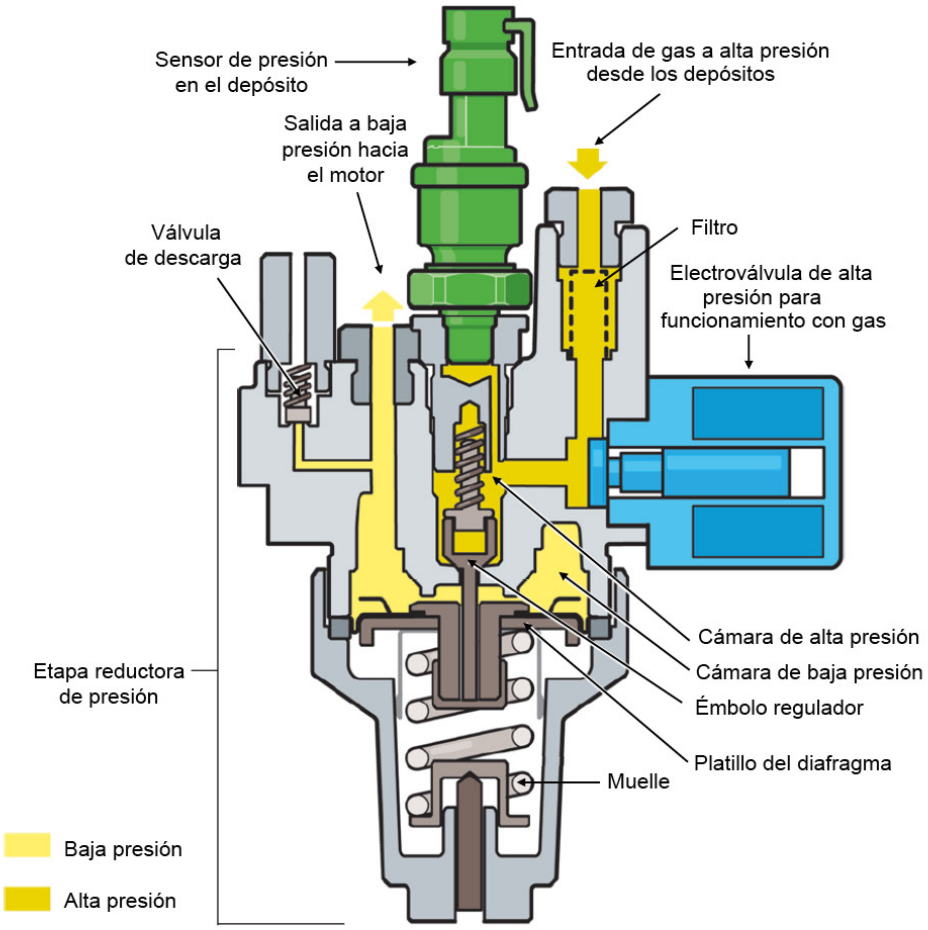


Figura 10.158. *Constitución del regulador de presión de gas natural.*

a la segunda. El gas que entra genera un aumento de la presión en la cámara de baja presión, de tal manera que cuando llega a 6 bar empuja el diafragma hacia abajo venciendo la fuerza del muelle. Bajo estas circunstancias, el émbolo regulador, al ser solidario al diafragma, interrumpe el paso de gas procedente de la cámara de alta presión. A medida que se va consumiendo gas, la presión en la cámara de baja presión disminuye, volviendo a forzar el muelle que el platillo del diafragma se sitúe en la posición superior, abriendo el émbolo regulador. Así, vuelve a circular gas desde la cámara de alta a la de baja presión, manteniendo una presión constante de 6 bar el tramo de baja presión.

– **Tomas de líquido refrigerante:** la expansión del gas al pasar de 200 a 6 bar hace que se absorba calor de los alrededores, disminuyendo la temperatura del entorno, pudiendo producirse la congelación del regulador de presión. Para evitar esto, circula líquido refrigerante por el cuerpo del regulador, que transfiere calor al entorno del émbolo regulador, disminuyendo el riesgo de congelación.

- **Tramo de baja presión:** está compuesto principalmente por los siguientes dispositivos:
  – **Rampa distribuidora de gas:** se instala en la parte superior del colector de admisión y contiene las electroválvulas insufladoras de gas y el sensor de presión de gas en la rampa, como indica la Figura 10.159.
  – **Electroválvulas insufladoras de gas:** se conectan a los conductos de admisión de los cilindros e insuflan gas al ser excitadas por la unidad de control del motor mediante una señal de tipo PWM. El tiempo de activación de las electroválvulas depende del régimen de giro del motor, la calidad del gas (L o H) y de la presión en la rampa distribuidora. Si una sola electroválvula se avería, el motor conmuta al modo de alimentación con gasolina.

© Ediciones Paraninfo

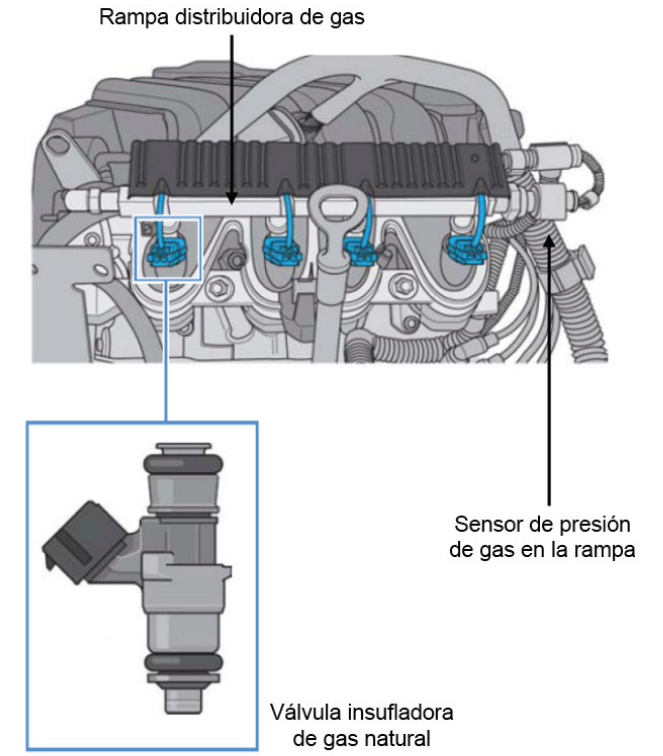


Figura 10.159. *Rampa distribuidora de gas.*

– **Sensor de presión de gas en la rampa distribuidora:** informa a la unidad de control del motor de la presión en la rampa para calcular los tiempos de activación de las electroválvulas insufladoras de gas natural. Si no se recibe esta señal o la presión en la rampa supera un valor de 10 bar, el motor pasa a funcionar en el modo de alimentación con gasolina.

La Figura 10.160 representa esquemáticamente el sistema de gestión del motor. La unidad de control del motor se encarga de la gestión del sistema, destacando las siguientes actuaciones importantes:

- **Arranque del motor:** dependiendo de la temperatura del líquido refrigerante, por debajo de un cierto valor arranca con gasolina y por encima del mismo con gas natural.
- **Funcionamiento con gas natural:** solo si se cumplen ciertas condiciones de temperatura del líquido refrigerante y presión en la rampa distribuidora.
- **Arranque del motor tras repostar gas natural:** al inicio, siempre se produce el arranque con gasolina, hasta activar la regulación λ o pasado unos minutos.
- **Regulación λ en funcionamiento con gas natural:** tanto en funcionamiento con gasolina como con gas natural, se trabaja con una mezcla estequiométrica (λ = 1).

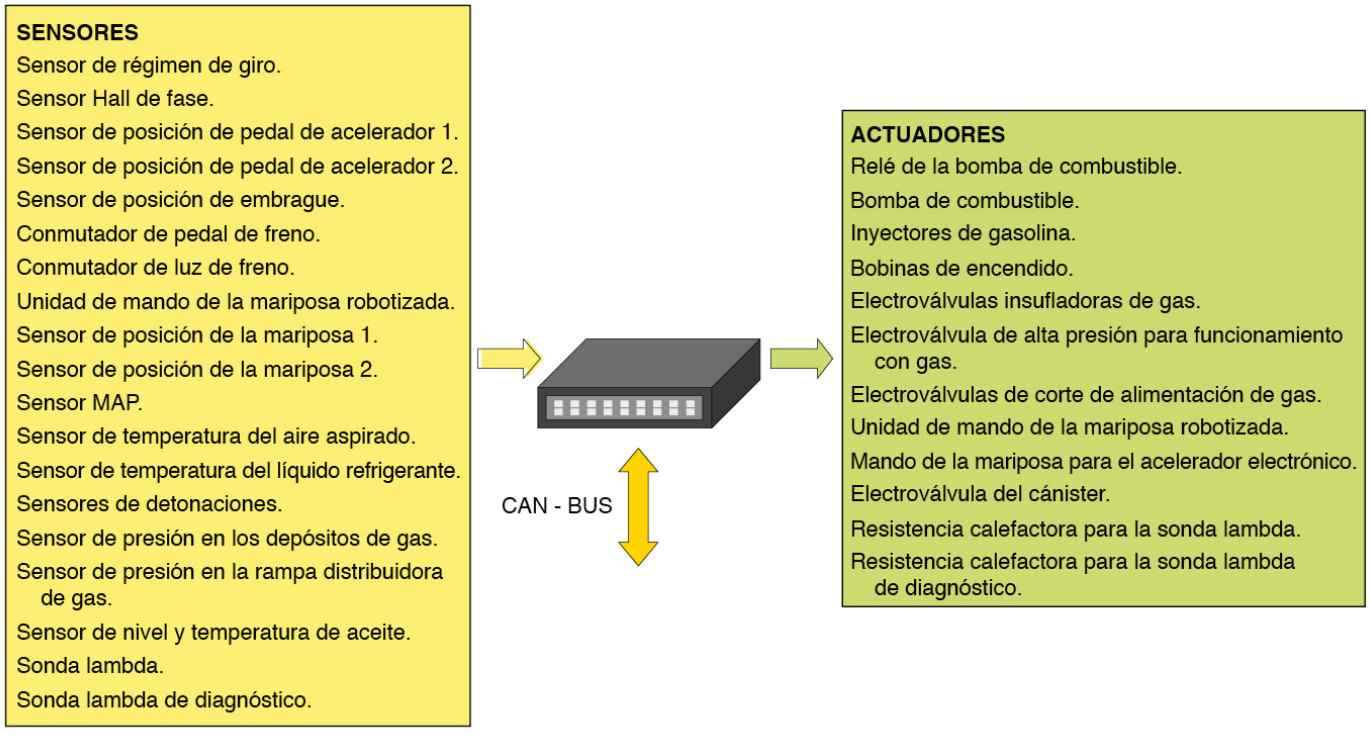


Figura 10.160. *Esquema del sistema de gestión del motor de un vehículo que puede utilizar gasolina o gas natural como combustibles.*

© Ediciones Paraninfo

- **Autoadaptación al tipo de gas natural repostado:** la sonda λ analiza la composición de los gases de escape y en función de si es gas natural L o H, la unidad de control del motor modifica el tiempo de activación de las electroválvulas insufladoras de gas natural.

10.7.3. Sistema de alimentación de gas licuado de petróleo (GLP)

En este apartado se va a explicar un sistema de alimentación flexible, en el que el vehículo se puede conducir en el modo de funcionamiento con gas y en el modo de funcionamiento con gasolina. El modo de funcionamiento lo puede seleccionar el conductor en cualquier momento, aunque es recomendable no hacerlo en los momentos en los que el motor está sometido a un alto régimen o a plena carga. La transición de un modo a otro es casi imperceptible, realizándose de forma suave al ir conmutando los cilindros de forma secuencial.

Dependiendo de la proporción de propano y butano, el GLP tiene un índice octano equivalente de 105 a 115.

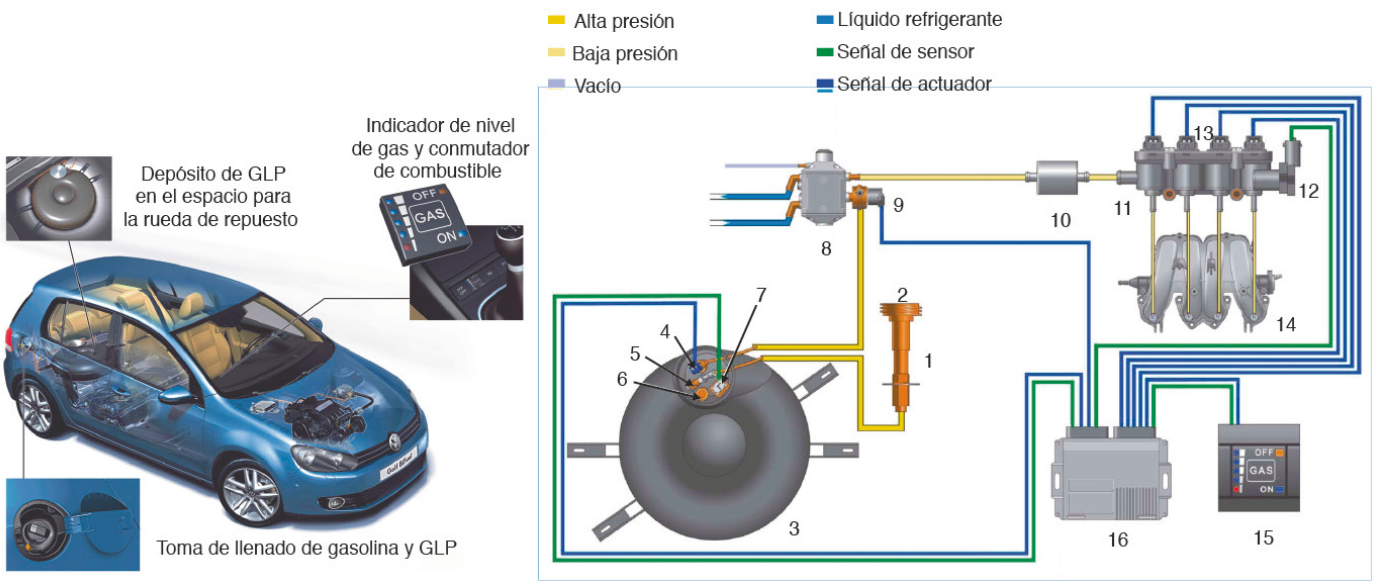
El sistema sobre el cual se va a realizar la explicación está basado en un modelo de combustible flexible del grupo VAG. Los componentes principales de dicho sistema están representados en la Figura 10.161.

A continuación se van a explicar los elementos principales del sistema, así como su funcionamiento:

- **Toma de llenado de gas:** se ubica justo en la boca de llenado de gasolina e incluye una válvula antirretorno, como la que muestra la Figura 10.162, que hace que el gas solo pueda circular en sentido de entrada hacia el depósito. El repostaje se realiza de forma similar al de la gasolina, indicando en el surtidor de GLP los litros repostados. La capacidad de llenado del depósito no debe superar el 80 % para permitir su expansión de forma segura en situaciones de clima cálido.

Sabías que...

Al GLP se le añade por seguridad una sustancia olorosa, ya que es un gas inodoro e incoloro.



1. Toma de llenado.
2. Adaptador de la toma (según país).
3. Depósito de GLP.
4. Electroválvula del depósito de GLP.
5. Válvula de corte de repostaje.
6. Válvula de alivio.
7. Indicador de llenado de GLP.
8. Evaporador.
9. Electroválvula de alta presión.
10. Filtro de gas.
11. Rampa distribuidora de gas.
12. Sensor de la rampa distribuidora.
13. Válvulas insufladoras de gas.
14. Colector de admisión.
15. Indicador de nivel de gas y conmutador de combustible.
16. Unidad de control del funcionamiento con gas.

Figura 10.161. *Componentes principales del sistema de alimentación con combustible flexible gasolina-GLP.*

© Ediciones Paraninfo

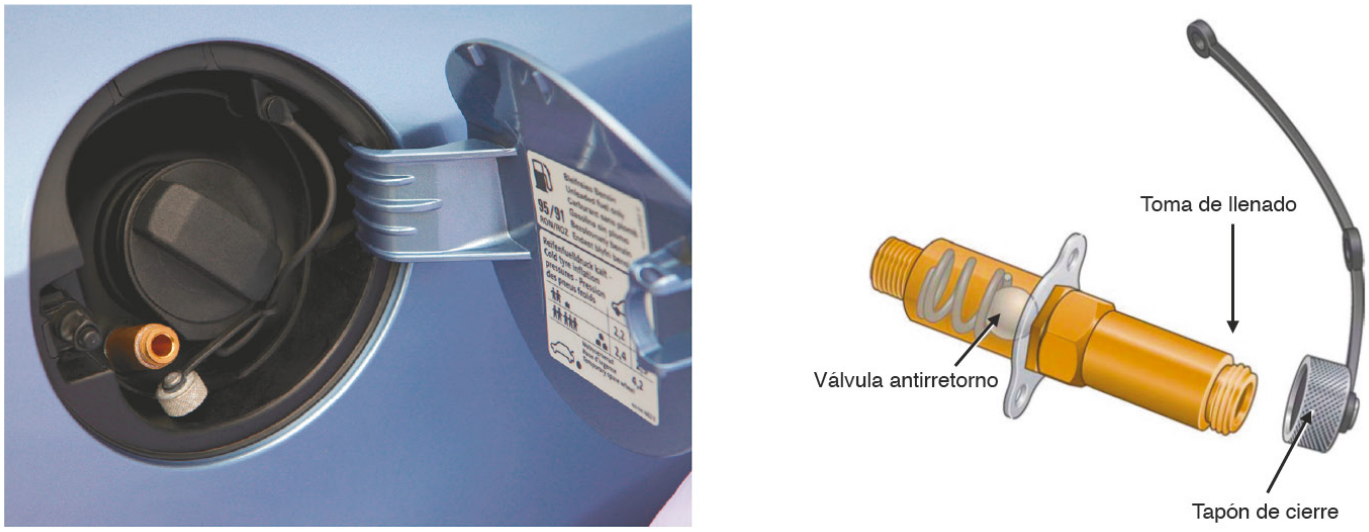


Figura 10.162. *Toma de llenado de gas con válvula antirretorno.*

- **Tuberías de gas:** se distinguen dos tipos.
  - **De alta presión:** se utilizan en el tramo desde la toma de llenado hasta el depósito y desde el depósito hasta el evaporador. Son de cobre recubierto de PVC, están sometidas a unas presiones de entre 8 y 10 bar y transportan el gas licuado.
  - **De baja presión:** se emplean en el tramo desde el evaporador hasta la rampa distribuidora de gas y desde esta hasta las válvulas insufladoras de gas. Se fabrican en plástico flexible, trabajan con presiones de 0,1 a 2 bar y transportan el fluido en estado gaseoso.
- **Depósito de GLP:** se encuentra en el espacio reservado para la rueda de repuesto, está fabricado en acero resistente y se sujeta con unos soportes especiales que en caso de colisión se deforman de forma programada, absorbiendo la energía del choque. La Figura 10.163 muestra los elementos principales del depósito.

  Los componentes más importantes del depósito se describen seguidamente:
  - **Cubeta antioleaje:** se encarga de asegurar un suministro constante de gas a pesar de que el vehículo circule por curvas o pendientes pronunciadas.
  - **Electroválvula del depósito de GLP:** está gestionada por la unidad de control del funcionamiento con gas y tiene la función de interrumpir el suministro de gas al pasar al modo de funcionamiento con gasolina, al parar el motor, en caso de colisión o en caso de quedar sin corriente debido a alguna circunstancia excepcional.
  - **Válvula de corte de repostaje:** se encarga de interrumpir el repostaje de GLP cuando el depósito ha alcanzado el 80 % de su capacidad máxima, a través de un flotador que actúa sobre la válvula de forma mecánica.
  - **Válvula de alivio:** tiene la misión de evitar que el depósito pueda explotar en caso de estar sometido a una gran fuente de calor. Cuando se supera un valor de presión en el depósito de unos 28 bar, como representa la Figura 10.164, se vence la fuerza del muelle y la válvula de alivio se abre, empujando el platillo hacia arriba. Posteriormente, el tapón de plástico antipolvo se desprende y el gas sale, dirigiéndose hacia el exterior del habitáculo por medio de unos conductos flexibles de desaireación.
  - **Indicador de llenado de GLP en el depósito:** un indicador de aguja en el depósito permite verificar el llenado de este. A su vez, a través de una conexión eléctrica, informa del llenado en el indicador del cuadro de instrumentos.
- **Evaporador:** es el elemento donde el gas licuado pasa a fase gaseosa. Por otro lado se reduce la presión del gas de 10 a 1 bar, en función de la presión en el colector de admisión, en dos etapas. En la Figura 10.165 pueden verse las partes del evaporador.

  A continuación, se va a explicar el funcionamiento del evaporador en cada etapa:

© Ediciones Paraninfo

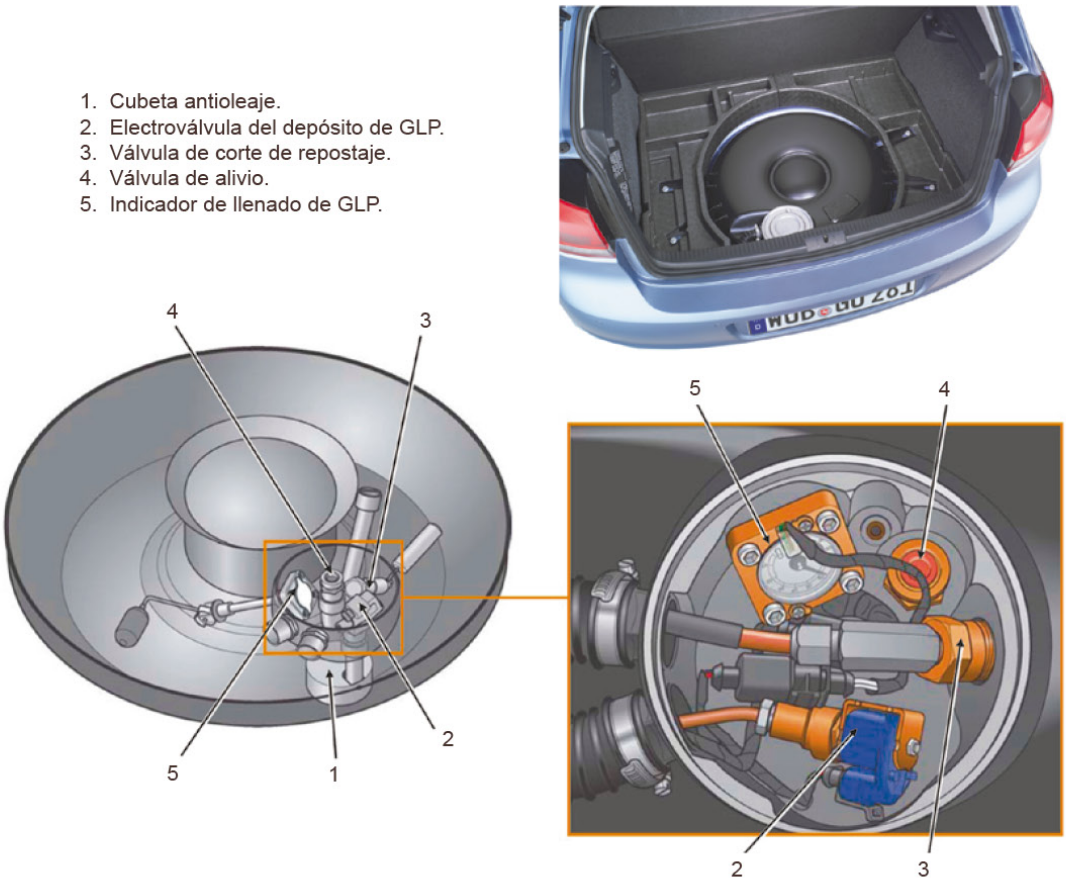


Figura 10.163. *Elementos principales del depósito.*

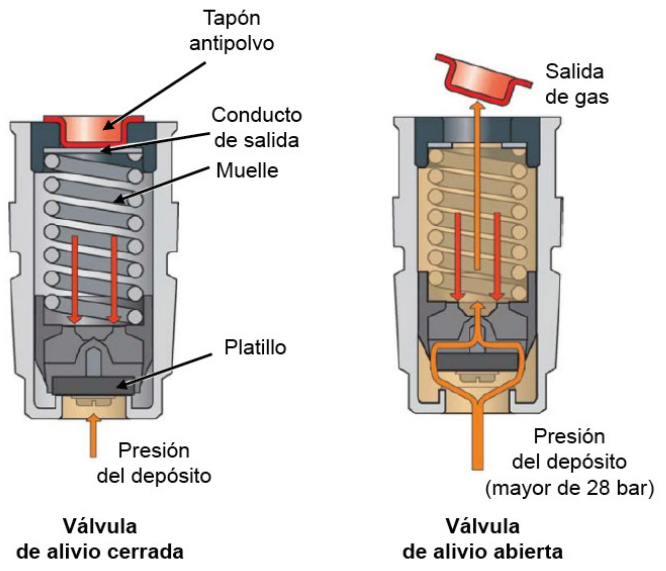


Figura 10.164. *Funcionamiento de la válvula de alivio.*

– **Etapa 1:** la electroválvula de alta presión para el funcionamiento con gas hace que el GLP llegue a la cámara interior a una presión no superior a 10 bar, abriendo la chapaleta. Posteriormente, el gas pasa a la cámara exterior y de ahí a la cámara de regulación. Durante este proceso, el fluido se expande y pasa a estado gaseoso. La membrana está sometida por un lado a la fuerza del muelle y a la presión atmosférica presente en la cámara del muelle. Si en la cámara de regulación la presión del gas supera 1,6 bar, la membrana comprime el muelle y se desplaza hacia la izquierda, arrastrando el émbolo, que a su vez hace que la chapaleta cierre el paso de gas a alta presión. Después, el gas se sigue expandiendo y pasa a la etapa 2 por medio del conducto de rebose. En el momento en que la presión disminuye de 1,6 bar, el muelle empuja la membrana, al mismo tiempo el émbolo se desplaza hacia la derecha y se abre la chapaleta, entrando de nuevo gas a alta presión.

– **Etapa 2:** el objetivo de esta etapa es continuar reduciendo la presión hasta 1 bar. El gas a 1,6 bar entra desde la cámara exterior de la etapa 1 a la cámara interior de la etapa 2 a través del conducto de rebose, abriendo la chapaleta. Posteriormente, llega a la cámara de regulación, atravesando

© Ediciones Paraninfo

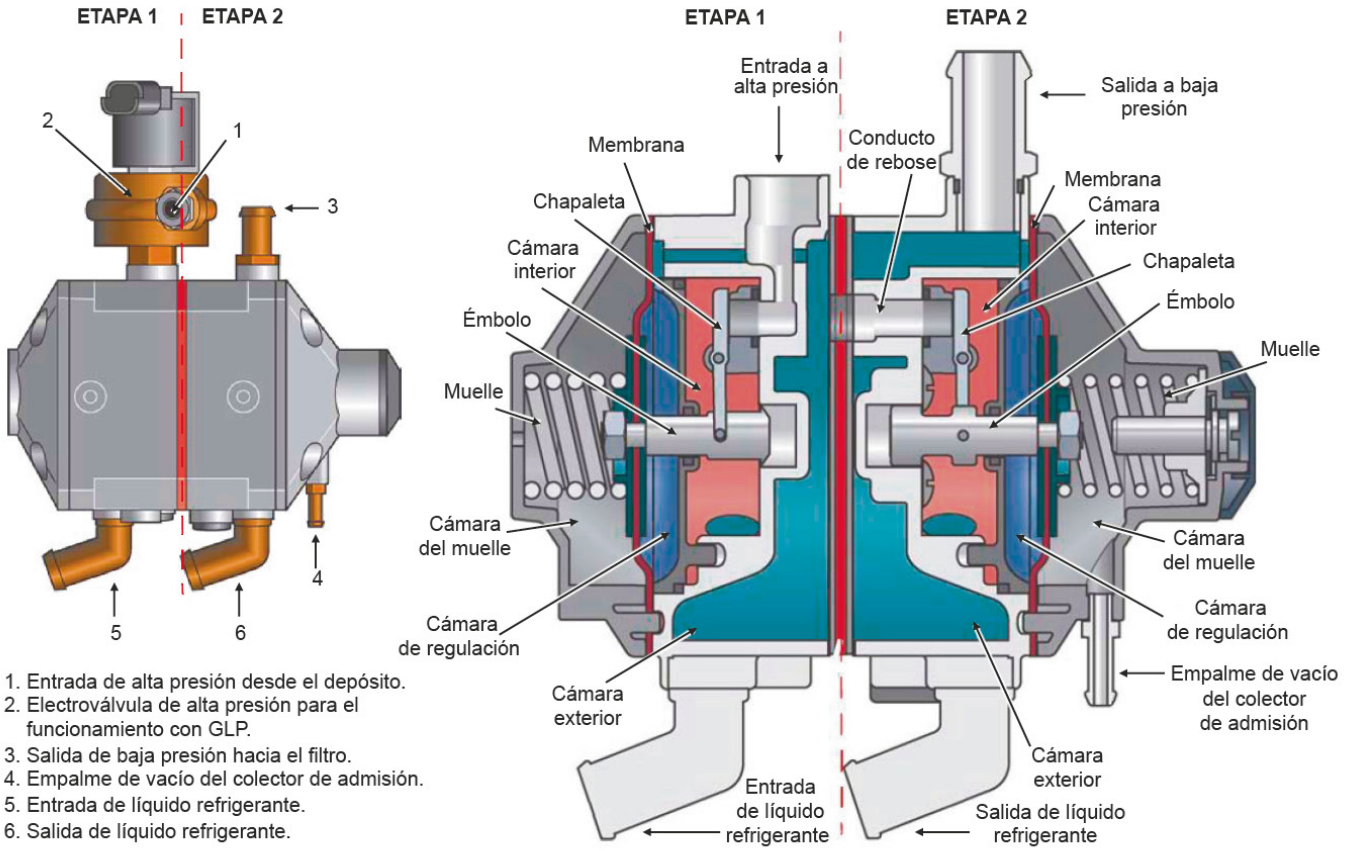


Figura 10.165. *Constitución del evaporador.*

la cámara exterior, continuando la expansión. La membrana de esta etapa está afectada, por un lado, por la presión del gas en la cámara de regulación, y por otro, por la fuerza del muelle y por la presión de la cámara del muelle, que es la misma que existe en el colector de admisión, al estar conectada con el mismo a través del empalme de vacío. Cuando la presión en la cámara de regulación es superior a 1 bar por encima de la presión en el colector de admisión, la membrana comprime el muelle y arrastra hacia la derecha al émbolo, cerrando la chapaleta y cortando el paso de gas. Así, el gas se sigue expandiendo y llega al filtro y a las válvulas insufladoras de gas, a la salida de la etapa 2 del evaporador. Cuando la diferencia de presiones entre la cámara de regulación y la cámara del muelle es inferior a 1 bar, el muelle empuja la membrana, el émbolo se desplaza hacia la izquierda, se abre la chapaleta y vuelve a introducirse gas procedente de la etapa 1.

El evaporador es recorrido por líquido refrigerante para evitar la congelación del mismo debido a la absorción de calor durante el proceso de expansión del gas.

- **Electroválvula de alta presión para el funcionamiento con GLP:** va instalada a la entrada del evaporador y permite el paso de gas a alta presión hacia el mismo en el modo de funcionamiento con gas. La válvula cierra el paso al conmutar al modo de funcionamiento con gasolina, al parar el motor, en caso de colisión o en el caso de no ser alimentada por alguna circunstancia. Incorpora un pequeño filtro que ha de sustituirse con la periodicidad prescrita por el fabricante.

- **Filtro de gas:** se ubica a la salida del evaporador, antes de la rampa distribuidora. Debe cambiarse cada cierto número de kilómetros, respetando las prescripciones del fabricante.

- **Rampa distribuidora de gas:** se acopla junto al colector de admisión y en ella se instalan las electroválvulas insufladoras de gas y el sensor de presión y temperatura en la rampa. Las electroválvulas insufladoras están gobernadas por la unidad de control del funcionamiento con gas, que las excita con una señal de tipo PWM. Cuando son activadas, permiten la introducción del gas en el conducto de admisión de cada cilindro. El sensor de presión y temperatura mide estos parámetros, que la unidad de control procesa para calcular el tiempo de apertura de

© Ediciones Paraninfo

las electroválvulas insufladoras. Por otro lado, esta información sirve para establecer cuándo ha de conmutarse al modo de funcionamiento con gasolina debido al vaciado del depósito de GLP, a la caída de presión de gas en el sistema o a una obstrucción del filtro de gas.

- **Indicador de nivel de gas y conmutador de selección de combustible:** estos dos elementos están integrados en un pulsador del tablero de instrumentos, representado en la Figura 10.166, que tiene las siguientes funciones:
  - Permitir la selección, por parte del conductor, del modo de funcionamiento del motor, ya sea con gasolina o con gas. Cuando el motor funciona en el modo de gas, se enciende el diodo LED azul al lado de la leyenda «ON». Si el motor funciona con gasolina se enciende el LED naranja al lado de la leyenda «OFF». En caso de que el LED azul parpadee durante la fase de arranque significa que el motor ha arrancado con el modo de gasolina y está esperando a conmutar al modo de gas cuando se cumpla lo siguiente:
    - » Se tiene una cantidad suficiente de gas en el depósito.
    - » La temperatura del líquido refrigerante es superior a 20 °C.
    - » Se ha accionado el acelerador.
    - » El régimen de giro del motor supera las 1200 rpm.

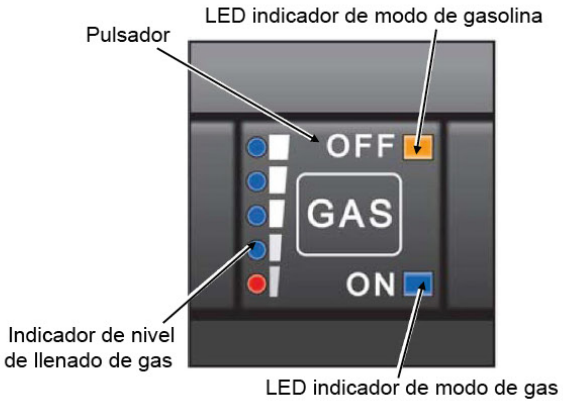


Figura 10.166. *Indicador de nivel de gas y conmutador de selección de combustible en el cuadro de instrumentos.*

  - Controlar el nivel de gas del depósito, a través de un indicador de llenado, que consiste en una escala de diodos LED azules, excepto el último, que es rojo e indica que el depósito de gas está en reserva. En caso de vaciarse el depósito de gas, se activa una señal acústica, lenta e intermitente, se enciende el LED naranja y el azul parpadea lentamente. Esto significa que el sistema pasa automáticamente al modo de funcionamiento con gasolina. Si se quiere eliminar la señal acústica, hay que apretar el pulsador, pero el resto de señales luminosas se mantiene.
  - Avisar de un mal funcionamiento del sistema, haciendo que uno de los diodos luminosos se encienda intermitentemente. Un mal funcionamiento puede tener dos causas:
    - » Una disfunción temporal: puede ser debido a una caída momentánea de la presión, por una demanda brusca de carga al pisar a fondo el acelerador y no haber suficiente gas en el depósito. En ese caso, el sistema pasa a funcionar con gasolina automáticamente y puede volver a funcionar con gas una vez se reduce la demanda de carga del motor o bien se ha llenado el depósito, dependiendo de la circunstancia. Para ello, el conductor debe seleccionar de nuevo el funcionamiento con gas.
    - » Una disfunción en el sistema: debido a algún elemento defectuoso, en tal caso, no se puede conmutar al modo de gas.

Sea cual sea el origen de la disfunción, la unidad de control memoriza una avería, se emite una señal acústica rápida e intermitente, el LED azul se enciende de forma intermitente de forma rápida, la unidad de control pasa al modo de gasolina y para apagar la señal acústica el conductor debe presionar el pulsador, manteniéndose encendido posteriormente solo el LED naranja.

- **Unidad de control del funcionamiento con gas:** se encarga de gestionar el funcionamiento del motor cuando está consumiendo GLP o gasolina como combustible, ya que gobierna tanto las electroválvulas insufladoras de gas como los inyectores de gasolina. La Figura 10.167 muestra un esquema de la gestión electrónica por parte de las unidades de control.

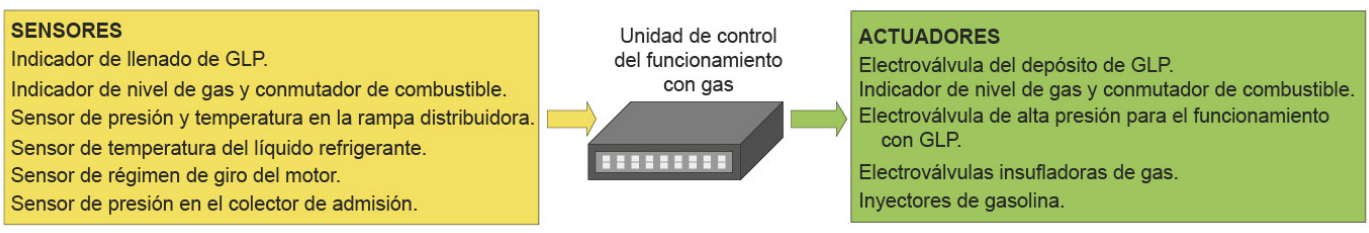
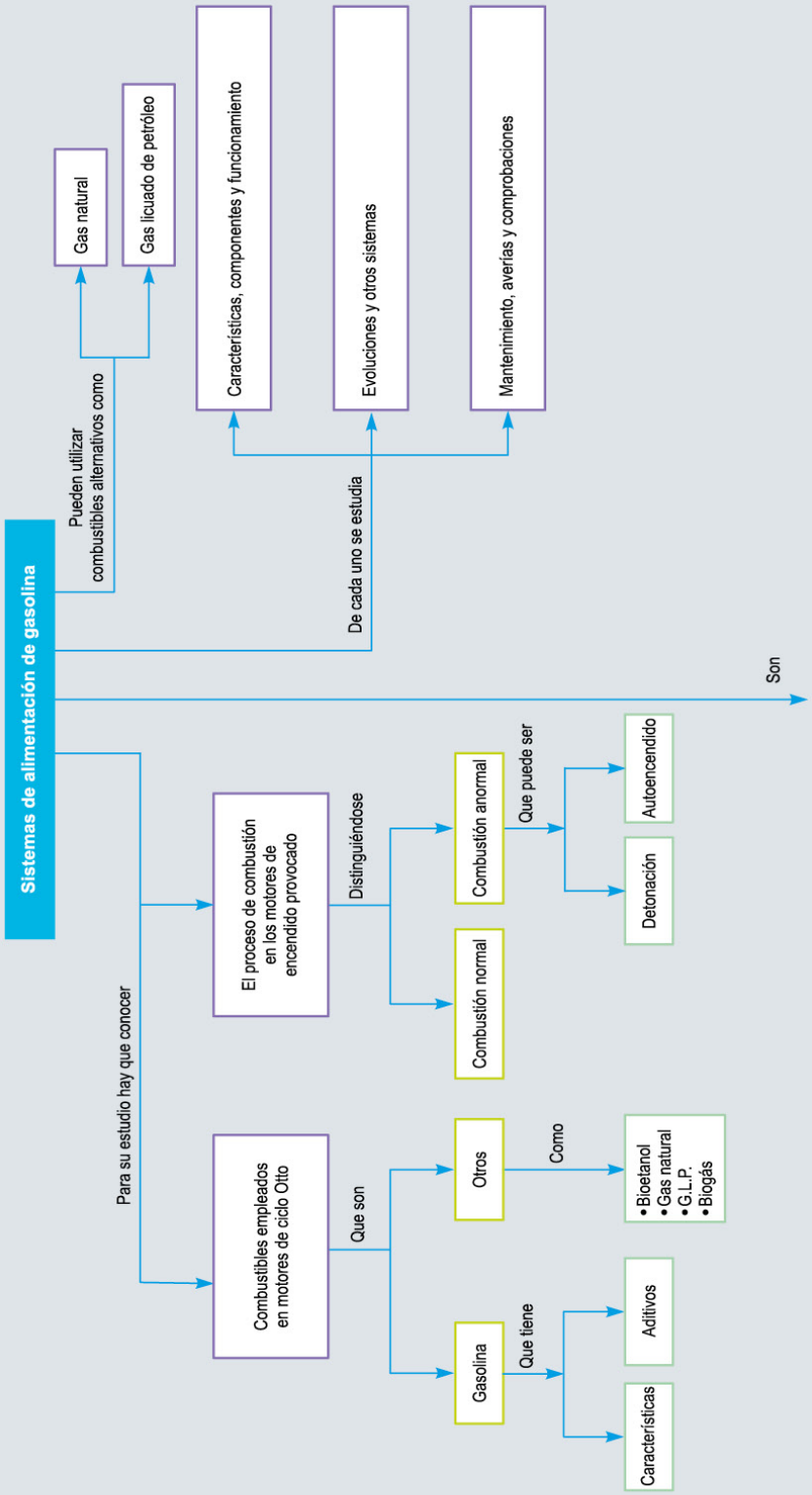
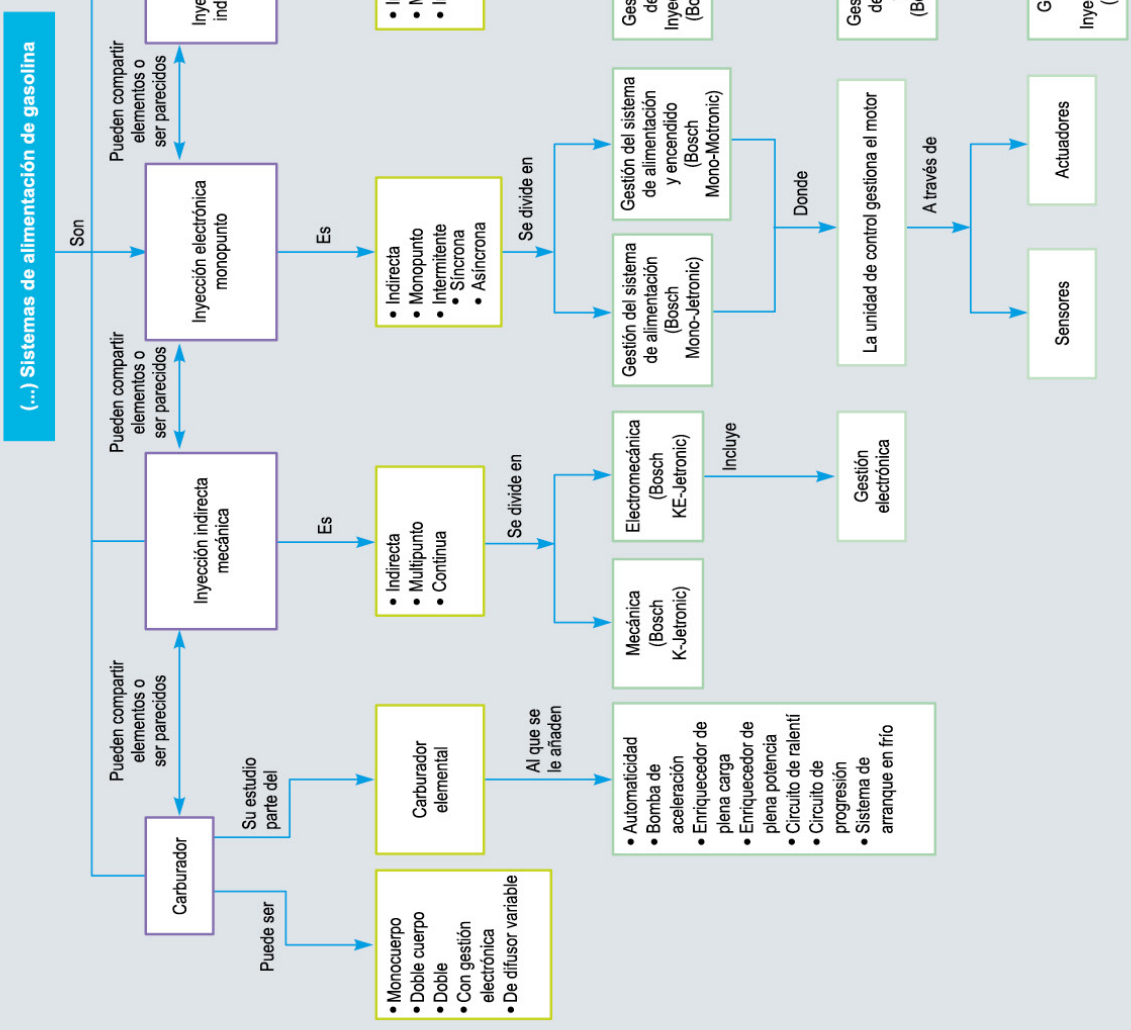


Figura 10.167. *Esquema del sistema de gestión del motor para la utilización de gasolina o GLP.*

© Ediciones Paraninfo



© Ediciones Paraninfo



© Ediciones Paraninfo

COMPRUEBA

10.1. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones del poder antidetonante de la gasolina es cierta?

a) Es la capacidad que tiene la gasolina para ser comprimida antes de autoinflamarse.

b) Los motores de ciclo Otto necesitan gasolina de poder antidetonante bajo.

c) Una mezcla constituida por un 100 % de n-heptano es poco detonante.

d) Todas las anteriores.

10.2. El poder calorífico de la gasolina tiene un valor aproximado de:

a) 42 000 Kcal/kg.

b) 4200 Kcal/kg.

c) 42 000 KJ/kg.

d) 4200 KJ/kg.

10.3. El efecto Venturi consiste en que un fluido:

a) Disminuye su presión cuando aumenta su velocidad al pasar por un estrechamiento.

b) Disminuye su presión cuando disminuye su velocidad al pasar por un estrechamiento.

c) Aumenta su presión cuando aumenta su velocidad al pasar por un estrechamiento.

d) Aumenta su presión cuando disminuye su velocidad al pasar por un estrechamiento.

10.4. El objetivo del circuito principal o de régimen normal del carburador es:

a) Enriquecer la mezcla cuando el motor trabaja a carga parcial.

b) Empobrecer la mezcla cuando el motor trabaja a carga parcial.

c) Enriquecer la mezcla cuando el motor trabaja a plena carga.

d) Empobrecer la mezcla cuando el motor trabaja a plena carga.

10.5. El enriquecedor de plena potencia del carburador proporciona un dosado relativo F_R de aproximadamente:

a) 1,2.

b) 1.

c) 0,8.

d) Depende del tipo de motor.

10.6. La inyección mecánica de gasolina es:

a) Indirecta.

b) Multipunto.

c) Continua.

d) Todas las anteriores.

10.7. El elemento de la inyección mecánica de gasolina encargado de mantener una presión constante durante un tiempo tras parar el motor es:

a) El filtro de combustible.

b) El acumulador de presión de combustible.

c) El regulador de presión de combustible.

d) El regulador de la fase de calentamiento.

10.8. La distancia entre el plato sonda y el cuerpo del distribuidor del sistema de inyección mecánica de gasolina ha de ser de aproximadamente:

a) 0,01 mm.

b) 0,05 mm.

c) 0,10 mm.

d) 0,5 mm.

10.9. El sistema de medición denominado Alfa-N, calcula la masa de aire aspirada a través de:

a) El potenciómetro de la mariposa de gases.

b) El sensor de régimen de giro.

c) La sonda de temperatura del aire.

d) Todas las anteriores.

10.10. La presión de combustible en un sistema de inyección electrónica monopunto suele ser de:

a) 0,5 bar.

b) 1 bar.

c) 1,5 bar.

d) 2 bar.

10.11. El modo síncrono del sistema de inyección electrónica monopunto de un motor de cuatro cilindros:

a) Realiza dos impulsos por revolución y se usa a carga parcial.

b) Realiza dos impulsos por revolución y se usa a plena carga.

c) Realiza cuatro impulsos por revolución y se usa a carga parcial.

d) Realiza cuatro impulsos por revolución y se usa a plena carga.

© Ediciones Paraninfo

10.12. **La presión de retención del sistema de inyección electrónica monopunto, durante los primeros 10 minutos después de haber parado el motor debe mantenerse en:**

a) 0,1 bar.
b) 0,5 bar.
c) 1 bar.
d) 2 bar.

10.13. **El sistema de inyección indirecta electrónica multipunto L-Jetronic realiza una inyección:**

a) Simultánea.
b) Semisecuencial.
c) Secuencial.
d) Continua.

10.14. **El caudal que debe proporcionar la bomba de combustible de un sistema de inyección indirecta electrónica multipunto ha de ser de unos:**

a) 80 l/h.
b) 100 l/h.
c) 120 l/h.
d) 140 l/h.

10.15. **En un sistema de inyección indirecta electrónica multipunto, si aumenta la temperatura del aire admitido, el tiempo de inyección:**

a) Aumenta.
b) Disminuye.
c) Permanece constante.
d) Depende de la gestión del motor.

10.16. **Si se avería uno de los transmisores del módulo de pedal de acelerador electrónico:**

a) El incidente no se registra en la memoria de averías.
b) No se enciende el testigo de avería EPC.
c) El sistema no emplea ninguna información adicional.
d) Se desactiva el programador de la velocidad de crucero.

10.17. **Si se avería la unidad de mando de la mariposa:**

a) El sistema lleva a la mariposa a una posición de marcha de emergencia.
b) El sistema sigue funcionando gracias al cable del acelerador.
c) El sistema sitúa la mariposa en posición de plena carga.
d) Ninguna de las anteriores.

10.18. **Los inyectores del sistema de inyección directa electrónica que pueden trabajar con 200 bar son:**

a) Electromagnéticos.
b) Piezoeléctricos.
c) Las dos anteriores son ciertas.
d) Ningún inyector de gasolina puede trabajar a 200 bar.

10.19. **La estratificación de la mezcla significa que:**

a) En las proximidades de la bujía la mezcla es más rica y se va empobreciendo según se aleja.
b) En las proximidades de la bujía la mezcla es más pobre y se va enriqueciendo según se aleja.
c) Está homogéneamente repartida.
d) La mezcla siempre es rica.

10.20. **En un motor de inyección directa electrónica funcionando en el modo estratificado, el combustible se inyecta:**

a) Al principio de la carrera de admisión.
b) Al final de la carrera de admisión.
c) Al principio de la carrera de compresión.
d) Al final de la carrera de compresión.

REALIZA

10.21. Tomar un carburador e identificar sus elementos y sistemas de adaptación de la mezcla, con ayuda de la documentación técnica del fabricante.

10.22. Localizar un vehículo o maqueta que monte un sistema de inyección mecánica de gasolina y realizar un esquema de funcionamiento, a la vista de los elementos que lo integran.

10.23. Comprobar las presiones de alimentación y de retención de un sistema de inyección electrónica monopunto.

10.24. Buscar un vehículo o maqueta que disponga de un sistema de inyección electrónica indirecta multipunto. Identificar qué evolución es y los elementos que lo componen. Realizar las comprobaciones pertinentes para verificar su funcionamiento, ayudado del manual del fabricante.

10.25. Encontrar un vehículo que monte un sistema de inyección directa electrónica. Identificar los elementos que lo componen y con ayuda de la documentación técnica analizar los modos operativos en los que puede funcionar. Verificar el sistema con máquina de diagnosis.

© Ediciones Paraninfo

Sistemas de alimentación diésel

11

CONTENIDOS

11.1. Combustibles y combustión en motores diésel
11.2. Sistemas con bomba de inyección en línea
11.3. Sistemas con bomba de inyección rotativa de émbolo axial
11.4. Sistemas con bomba de inyección rotativa de émbolos radiales
11.5. Sistemas de inyección con inyector-bomba
11.6. Sistemas de inyección *common rail*

OBJETIVOS

- Conocer las características de los combustibles empleados en motores de ciclo diésel.
- Describir el proceso de combustión en los motores de encendido por compresión.
- Analizar los diferentes sistemas de alimentación empleados en los motores diésel.
- Mantener adecuadamente cada sistema diagnosticando sus posibles averías.

Los motores diésel emplean como combustible el gasóleo, aunque se están desarrollando otros nuevos que son más respetuosos con el medio ambiente y reducen las emisiones contaminantes.

Dadas las características de la combustión en este tipo de motores, el combustible debe suministrarse muy pulverizado y a alta presión, por lo que es necesario un sistema de inyección.

A lo largo de este capítulo, se van a desarrollar los sistemas principales de inyección en motores diésel, que pueden ser con bomba de inyección en línea, con bomba de inyección rotativa, sistemas con inyector-bomba y sistemas *common rail.*

11.1. Combustibles y combustión en motores diésel

11.1.1. Combustibles empleados en motores de ciclo diésel

El combustible principal de los motores diésel es el gasóleo, que se obtiene de la destilación fraccionada del petróleo. Las características del gasóleo deben asegurar una inflamabilidad homogénea y progresiva, siendo las más destacables:

- **Poder de autoinflamación:** el gasóleo debe tener una elevada tendencia a la autoinflamación, que se mide por el número de cetano o índice de cetano (NC o CZ). El índice de cetano indica cuánto se puede comprimir el gasóleo antes de autoinflamarse. Para que el motor funcione de forma suave, es necesario producir una inflamación rápida y completa del gasóleo inyectado, según va entrando en contacto con el aire a alta presión y temperatura dentro de la cámara de combustión. El índice de cetano se obtiene comparando el punto de autoinflamación de una mezcla de cetano, que es 100 % inflamable, y de α-metilnaftaleno, que es 0 % inflamable. Los gasóleos empleados en la actualidad tienen un índice de cetano que varía entre 40 y 60 CZ, recomendando muchos fabricantes de automóviles un valor superior a 51 CZ. Con un índice de cetano óptimo se disminuye el retraso del inicio de la combustión, aumenta la eficiencia de la misma, se reduce el ruido del motor, disminuye el consumo de combustible y se mejora el arranque en frío. Si el valor es inferior al especificado, el gasóleo necesitará una mayor presión y temperatura para iniciar la combustión, por lo que esta se retrasará y provocará un aumento no controlado de la presión en el interior del cilindro. Consecuentemente, el funcionamiento del motor será más rudo y resultará afectado el arranque en frío.
- **Poder calorífico:** el poder calorífico del gasóleo es algo inferior al de la gasolina, siendo aproximadamente de 42 000 KJ/kg.
- **Punto de inflamación y de autoinflamación:** el punto de inflamación es la temperatura a la que el gasóleo empieza a arder cuando se le aproxima una llama, debiendo estar por encima de 55 °C para evitar accidentes durante su manipulación. El punto de autoinflamación es la temperatura mínima a la que el gasóleo arde de forma espontánea en contacto con el aire sin necesidad de un agente externo, teniendo un valor de unos 220 °C.

Sabías que...

Al igual que en la gasolina, la determinación del índice de cetano del gasóleo se lleva a cabo con un motor de ensayos monocilíndrico de relación de compresión variable. El cálculo se realiza ajustando el ángulo de retraso, variando la relación de compresión o el caudal de aire, dependiendo del método utilizado. A su vez, se van probando diferentes proporciones de mezcla de *n*-cetano y α-metilnaftaleno.

Sabías que...

La gestión electrónica de muchos motores diésel permite modificar diferentes parámetros para conseguir una combustión óptima ante pequeñas variaciones del índice de cetano, sin alterar el funcionamiento del motor.

- **Volatilidad:** la volatilidad del gasóleo es menor que la de la gasolina, ya que el combustible se quema a medida que se va inyectando, comenzando a evaporarse a partir de 200 °C.
- **Densidad:** la densidad de los gasóleos tiene un valor comprendido entre 820 y 845 kg/m^3, a 15 °C.
- **Viscosidad:** esta característica afecta a la forma de pulverizar el combustible en el interior de la cámara de combustión.
- **Punto de apariencia cerosa:** esta propiedad es importante sobre todo en vehículos que van a ser utilizados en climas fríos, ya que el gasóleo a bajas temperaturas tiende a formar cristales cerosos que pueden obstruir los conductos. La temperatura a la que empieza a ocurrir este fenómeno es el PAC (Punto de Apariencia Cerosa) y disminuye a medida que aumenta la calidad del gasóleo.
- **Pureza:** las impurezas más importantes que se pueden encontrar en el gasóleo son:
  - **Impurezas abrasivas:** deben evitarse ya que pueden dañar la bomba de inyección.
  - **Contenido en azufre:** en la actualidad se ha reducido a niveles de 10 mg/kg o lo que es lo mismo, 10 ppm (partes por millón), con el fin de reducir las emisiones contaminantes. El azufre también puede dañar al motor porque, tras la combustión, se forman óxidos de azufre que en contacto con la condensación de agua

© Ediciones Paraninfo

en las paredes del cilindro, pueden formar ácido sulfúrico, muy corrosivo. Por otro lado, el azufre tiene propiedades lubricantes, que ayudan a prolongar la vida de diversos sistemas mecánicos, como las bombas de inyección en línea y rotativas. Por este motivo, se debe observar qué cantidad de azufre tiene el combustible que se suministra a este tipo de motores para no acelerar el desgaste.

– **Contenido en agua:** debido a que el agua y el gasóleo son líquidos difícilmente miscibles, la presencia de agua debe reducirse al máximo para no afectar a sus propiedades. El agua, además, puede provocar la corrosión del circuito de combustible, favorecer la formación de hielo a bajas temperaturas y ayudar a la proliferación de bacterias. Si en el gasóleo se forman bacterias, estas lo ingieren y lo excretan como una sustancia viscosa y ácida que puede, por un lado, obstruir los conductos, y por otro, corroerlos.

Recuerda que...

No se debe mezclar gasolina con gasóleo por riesgo de explosión. Cuando el depósito solo contiene gasóleo hay pocos vapores de combustible. Sin embargo, la gasolina desprende vapores muy sensibles a la combustión. Si ambos combustibles se mezclan, la temperatura de inflamación del gasóleo desciende. En estas circunstancias, si saltase una chispa, por ejemplo, por una descarga de electricidad estática, el depósito podría explotar.

Para mejorar las propiedades del gasóleo se suelen añadir aditivos como:

- **Mejoradores del índice de cetano:** que aumentan el índice de cetano favoreciendo la autoinflamación, mejorando el arranque en frío y disminuyendo el ruido de combustión.
- **Anticorrosivos:** protegen los elementos metálicos contra la oxidación y la corrosión, neutralizando los productos ácidos que pueden resultar de un elevado contenido en azufre.
- **Modificadores de fricción:** ayudan a que el combustible tenga una función lubricante óptima en todo el rango de temperatura de funcionamiento, reduciendo la fricción entre elementos metálicos.
- **Antiespumantes:** evitan la formación de espuma para un llenado del depósito completo y rápido, evitando los derrames.
- **Antiemulsionantes:** evitan que se forme una emulsión con el agua. Esto es especialmente importante en el gasóleo dadas sus características higroscópicas, es decir, su capacidad para absorber el agua ambiental.
- **Detergentes:** sirven para mantener limpios los conductos y la cámara de combustión, además de evitar la concentración de carbonilla en las toberas de inyección.

Sabías que...

Al gasóleo se le suelen añadir productos que le proporcionan un olor más agradable.

En función del paquete de aditivos incorporados, un mismo fabricante puede ofrecer diferentes tipos de gasóleos comerciales, de diferente calidad.

Sabías que...

El gasóleo agrícola tiene la misma calidad que el gasóleo de automoción. La principal diferencia es que se le añade como trazador un colorante rojo que puede detectar la autoridad competente por si se usa en otro tipo de vehículos. Esto es debido a que tiene un precio más bajo con el fin de que se aplique solo a los vehículos agrícolas.

Además del gasóleo, los motores diésel pueden funcionar con otros combustibles como el biodiésel. El biodiésel es un biocarburante líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas para este fin. Por este motivo es un combustible biodegradable y no tóxico. La calidad del biodiésel depende fundamentalmente del tipo de aceite utilizado como materia prima y de su proceso de fabricación. A continuación se comparan algunas propiedades del biodiésel con las del gasoil:

- **Índice de cetano:** esta característica es algo mayor en el biodiésel que en el gasóleo.
- **Poder calorífico y densidad:** el poder calorífico del biodiésel es en torno a un 10 % inferior que el del gasóleo, pero esto no supone una diferencia significativa ya que tiene una densidad mayor.
- **Punto de inflamación:** la temperatura de inflamación del biodiésel es mayor que la del gasóleo, reduciendo los riesgos de su manipulación.
- **Punto de apariencia cerosa:** esta temperatura es algo mayor en el biodiésel, influyendo más en climas fríos.
- **Contenido en azufre:** el biodiésel no presenta contenido en azufre, por lo que resulta menos contaminante.

© Ediciones Paraninfo

El método utilizado comercialmente para la obtención de biodiésel es la transesterificación (también llamada alcohólisis). Se basa en la reacción de moléculas de triglicéridos con alcoholes de bajo peso molecular para producir ésteres (empleados para la producción de biodiésel) y glicerina (utilizada en industrias de cosmética, de alimentación, farmacéutica…).

Las principales ventajas del biodiésel frente al gasóleo son las siguientes:

- **Mayor lubricidad:** que ayuda a reducir el desgaste.
- **Mayor índice de cetano:** que mejora el proceso de combustión.
- **Menos emisiones contaminantes:** por la ausencia de azufre y, dado que las moléculas de éster tienen un gran número de oxígenos, la combustión resulta más eficiente. Además, se supone que la combustión de biodiésel solo produce la cantidad de CO_2 absorbido por las plantas de las que procede. De esta forma se equilibra el balance entre el CO_2 emitido y el absorbido.

Los inconvenientes más destacables del biodiésel en comparación con el gasóleo son los que se citan a continuación:

- **Punto de apariencia cerosa elevado:** convirtiéndolo incompatible a bajas temperaturas, aunque depende del origen del éster empleado para su obtención. Normalmente los fabricantes recomiendan que la materia prima sea la colza para minimizar este inconveniente
- **Viscosidad elevada:** que provoca pérdidas de carga a través de los filtros e inyectores.
- **Dilución del lubricante:** el biodiésel tiende a disolverse en el lubricante en mayor medida que el gasóleo. Por este motivo deberá emplearse un aceite adecuado cuando se utilice biodiésel.
- **Corrosión:** especialmente por la presencia de cloro, sales y ácidos en el biodiésel.
- **Compatibilidad con determinadas juntas:** sobre todo si son de nitrilo, debiendo sustituirse por materiales como el vitón. El biodiésel puro contiene alcoholes vegetales como glicol, que descompone el caucho. En el proceso de refino se sustituye el glicol por metanol (derivado del petróleo), mejorando su compatibilidad.
- **Saturación de filtros:** principalmente si se empieza a emplear biodiésel después de haber utilizado gasóleo. El biodiésel tiene un gran poder diluyente que puede arrastrar la suciedad de los conductos del circuito de combustible, colmatando prematuramente los filtros. Por este motivo, si se cambia de un combustible a otro, es posible que haya que sustituir los filtros al poco tiempo.

Sabías que…

Muchos gasóleos comerciales tienen una pequeña proporción de biodiésel, como por ejemplo los denominados B5, que contienen biodiésel en un 5 %.

Recuerda que…

Antes de utilizar biodiésel en un vehículo hay que saber si el motor está preparado para su utilización, la proporción de biodiésel y su procedencia.

11.1.2. El proceso de combustión en los motores diésel

Antes de comenzar el estudio del proceso de combustión en los motores diésel, es interesante analizar algunas características de estos motores, que justifican su mayor rendimiento y menor consumo en comparación con los motores de gasolina, siempre que se comparen motores equivalentes. Estas características son:

- **Dosado:** los motores de encendido por compresión trabajan con exceso de aire y la regulación de la carga se hace variando la cantidad de combustible inyectado. De esta forma, el dosado relativo (F_R) puede variar aproximadamente desde 0,15 al régimen de ralentí, hasta 0,8 a plena carga. El dosado a plena carga suele estar limitado para reducir las emisiones contaminantes, especialmente las partículas sólidas.
- **Relación de compresión:** los motores diésel funcionan con una relación de compresión que oscila entre 17:1 y 22,5:1, en un motor de automoción. Como es sabido, el rendimiento térmico depende de la relación de compresión, aumentando con ella. Por este motivo, el rendimiento de los motores diésel es mayor que el de los de gasolina, aprovechando mejor la energía del combustible.

Recuerda que…

La relación de compresión varía en función de si el motor es de inyección directa o indirecta y de si es o no sobrealimentado.

- **Lazo de renovación de la carga:** los motores de gasolina regulan la carga con la mariposa de gases, ofreciendo esta una gran restricción al paso del fluido de admisión. Los motores diésel regulan la carga admitiendo la mayor

© Ediciones Paraninfo

cantidad de aire posible y controlando la cantidad de combustible inyectado, por lo que no disponen de mariposa de gases. De esta forma, el área correspondiente al lazo de renovación de la carga en el diagrama P-V, que representa un trabajo negativo, disminuye. Consecuentemente, las pérdidas por bombeo al régimen de ralentí y a cargas parciales se reducen considerablemente.

- **Poder calorífico del gasóleo:** aunque el poder calorífico del gasóleo es algo inferior al de la gasolina, su densidad es mayor. Esto hace que el gasóleo tenga más energía por litro que la gasolina.

La calidad de la combustión depende en gran medida de la fase de compresión y, por tanto, de la relación de compresión. El objetivo de comprimir el aire aspirado es aumentar su temperatura de manera que se favorezca la autoinflamación del gasóleo al ser inyectado. Los factores más importantes que afectan a la temperatura del aire al final de la compresión son:

- **Temperatura del aire exterior y temperatura del motor:** por este motivo, el arranque en frío es crítico en los motores diésel, debiendo asegurar, incluso a temperaturas bajas, el buen ajuste de los segmentos con las paredes del cilindro para evitar fugas de compresión.
- **Diseño de la cámara de combustión:** la geometría de la cámara de combustión debe ser tal que minimice su área para evitar las pérdidas de calor.
- **Relación de compresión:** si aumenta la relación de compresión, también aumenta la temperatura del aire al final de la compresión. Por otro lado, una relación de compresión elevada favorece la formación de la mezcla del gasóleo inyectado con el aire comprimido y minimiza las pérdidas de calor. Pero la relación de compresión también debe limitarse porque llega un momento en el que empieza a disminuir el rendimiento del motor. Esto se debe a que aumentan las pérdidas por rozamiento, ya que los órganos mecánicos están sobredimensionados para que soporten cargas tan elevadas, aumentando el peso, las inercias y la fricción.

El régimen de giro es otro parámetro influyente en la calidad de la combustión, ya que en el motor diésel hay muy poco tiempo para introducir el combustible, formar la mezcla e iniciar la combustión. Por este motivo, la eficiencia de la combustión disminuye a regímenes elevados, siendo esta la razón principal por la que el régimen de giro máximo de los motores diésel es inferior al de los de gasolina.

El inicio de la combustión se produce al final de la carrera de compresión, cuando, al estar el aire comprimido a alta temperatura, se inyecta el gasóleo y se dan las condiciones óptimas dentro de la cámara de combustión para que se autoinflame. A la vista de esto, puede deducirse que la combustión puede iniciarse en diferentes puntos, como muestra la Figura 11.1, donde puede observarse el proceso de combustión en un motor diésel de inyección directa con inyector de 6 orificios.

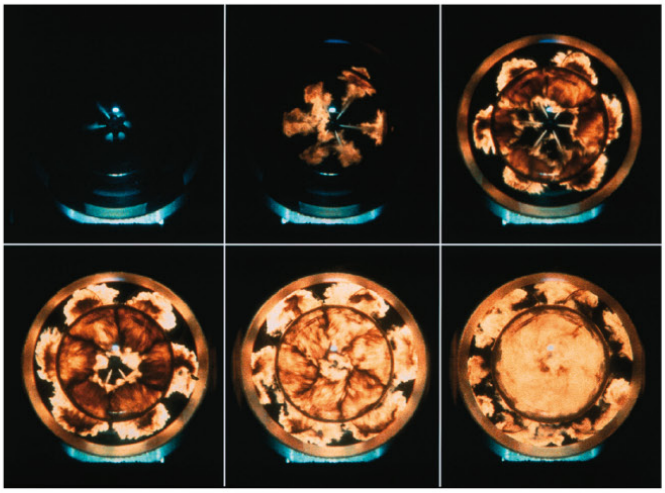


Figura 11.1. *Proceso de combustión en un motor diésel de inyección directa con inyector de 6 orificios.*

El proceso de combustión tiene tres fases, indicadas en la Figura 11.2, que son las siguientes:

- **Tiempo de retraso:** es el tiempo que transcurre entre el inicio de la inyección y el inicio de la combustión. Esta fase se produce al final de la carrera de compresión y dura en torno a 1 ms, tiempo que tarda en volatilizarse el gasóleo y mezclarse con el aire comprimido caliente.
- **Combustión rápida:** corresponde a la combustión del gasóleo inyectado durante el tiempo de retraso, que arde bruscamente, por lo que la presión aumenta de forma súbita sin apenas movimiento del pistón. Por este motivo, esta fase se produce casi a volumen constante y el brusco aumento de la presión es lo que genera el ruido característico del motor diésel.
- **Combustión lenta o controlada:** tras la fase anterior, se sigue inyectando combustible. Como el pistón ha iniciado su descenso, la presión y temperatura del cilindro disminuyen. La combustión se ve favorecida por la turbulencia que genera la mezcla ya quemada, terminando en un determinado punto de la carrera de expansión.

Sabías que...

Disminuyendo el tiempo de retraso se reduce el ruido de combustión del motor y su funcionamiento es más suave.

© Ediciones Paraninfo

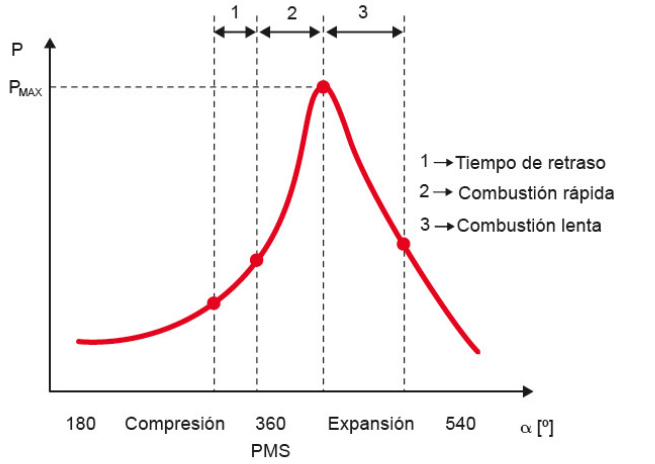


Figura 11.2. *Representación gráfica del proceso de combustión de un motor diésel.*

El proceso de combustión en los motores diésel se ve muy influenciado por la turbulencia del aire generada por la forma de la cámara de combustión, donde el inyector pulveriza el combustible. Según la forma de inyectar el combustible, se pueden distinguir motores diésel de:

- **Inyección indirecta:** con este sistema se inyecta el combustible en una cámara auxiliar o precámara, motivo por el cual a esta configuración se le llama de cámara dividida. Durante la fase de compresión, el aire entra a la precámara por un pequeño orificio, que le proporciona una gran turbulencia. Cuando el inyector aporta el combustible en la precámara, se inicia la combustión. Como no hay suficiente oxígeno para quemar todo el combustible inyectado, la nube de mezcla inflamada se expande hacia el cilindro, que junto con la cabeza del pistón y la culata forman la cámara principal, siendo ahí donde se mezcla con el resto de aire y termina la combustión. Existen dos tipos principales de precámara, mostrados en la Figura 11.3, que son:

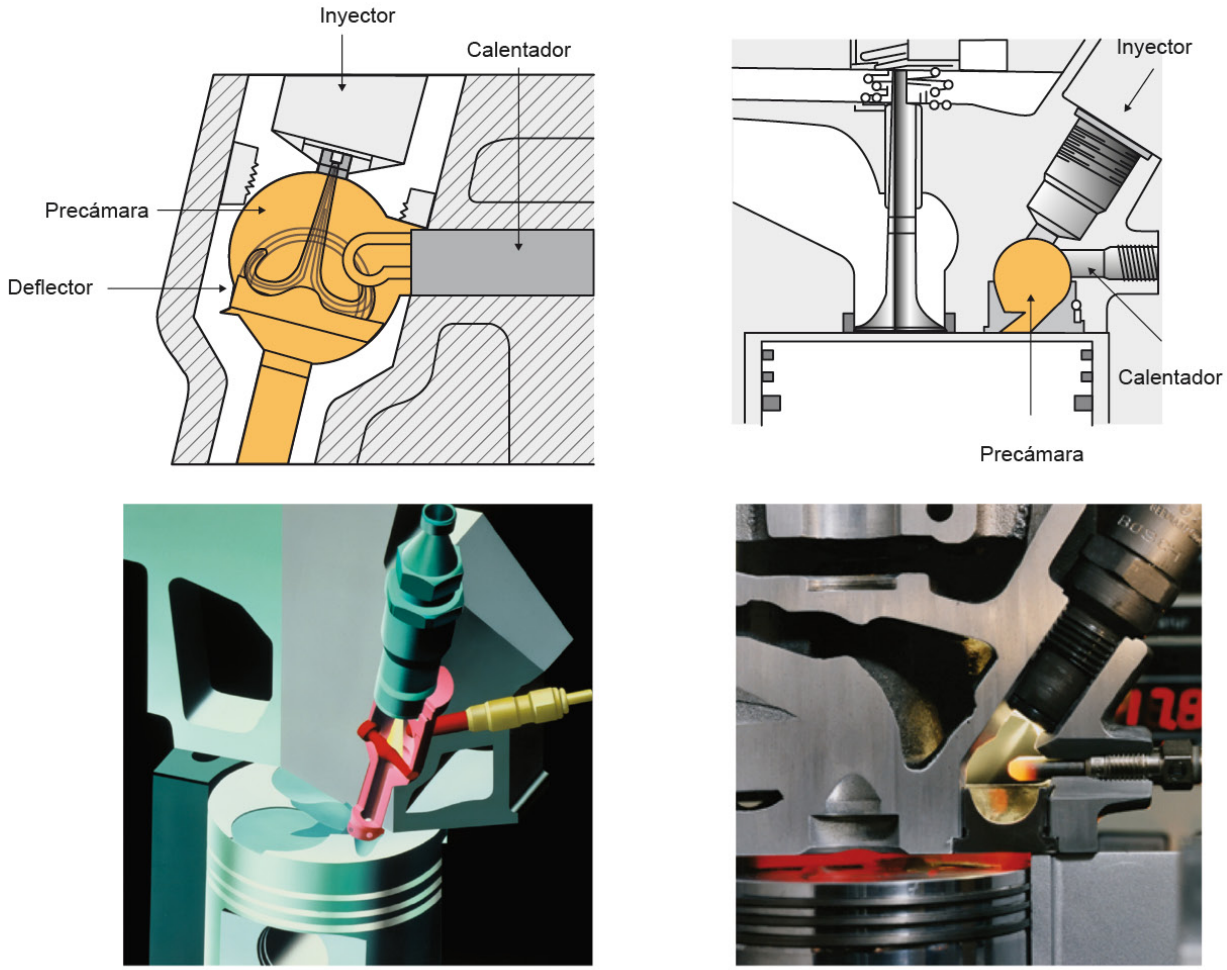


Figura 11.3. *Tipos de precámaras de los motores diésel de inyección indirecta: de precombustión (izquierda) y de turbulencia (derecha).*

© Ediciones Paraninfo

– **Cámara de precombustión:** constituye alrededor de 1/3 del volumen total de la cámara de combustión. La mayor parte de la turbulencia se genera al inflamarse el combustible, gracias a un deflector que incorporan en su interior.

– **Cámara de turbulencia:** tiene forma esférica y constituye entre 2/3 y 3/4 del volumen total de la cámara de combustión. La mayor parte de la turbulencia se provoca durante la fase de compresión. Con este tipo de precámara, las presiones de inyección suelen ser algo mayores que en la cámara de precombustión, pudiendo llegar a unos 140 bar.

Sabías que...

Antes de que evolucionasen los sistemas de inyección directa que se encuentran hoy en día, los sistemas de inyección indirecta presentaban ventajas notables en cuanto a suavidad de funcionamiento, ruido de combustión, régimen de giro máximo y emisiones contaminantes.

- **Inyección directa:** consiste en inyectar el combustible directamente en el cilindro, sobre la cabeza del pistón, que suele tener labrada la mayor parte de la cámara de combustión, normalmente con forma toroidal para favorecer la turbulencia. Con este sistema se minimizan las pérdidas de calor, por lo que el rendimiento térmico del motor aumenta, siendo necesarias relaciones de compresión menores en comparación con los sistemas de inyección indirecta. Actualmente es el sistema más utilizado, gracias al avance de la electrónica y al aumento de las presiones de inyección, que han conseguido motores de gran rendimiento con un funcionamiento suave, aptos para su uso en automoción. La Figura 11.4 muestra un ejemplo de sistema de inyección directa.

Figura 11.4. *Sistema de inyección directa.*

11.2. Sistemas con bomba de inyección en línea

11.2.1. Características, componentes y funcionamiento

Los elementos que componen el sistema de alimentación diésel con bomba de inyección en línea son los que aparecen en la Figura 11.5. En ella puede observarse cómo el combustible es aspirado del depósito (1) por la bomba de transferencia (2) y es conducido al filtro (3). Posteriormente pasa a la bomba en línea de alta presión (4), que dispone de tantos elementos de bombeo como inyectores, y envía el combustible a presión hacia los inyectores (5). El combustible sobrante es conducido hacia el depósito por el conducto de retorno (6).

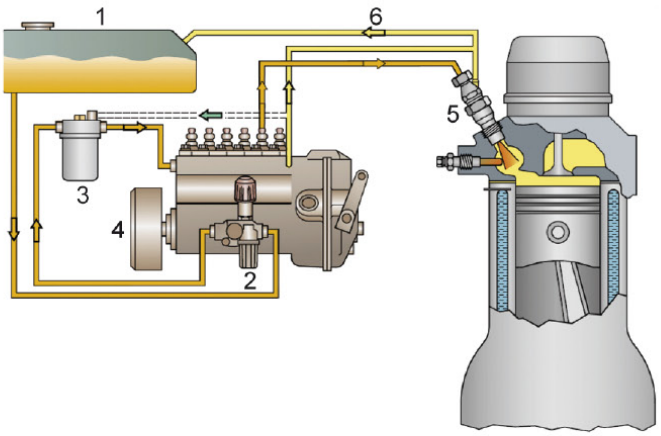


Figura 11.5. *Elementos del sistema de alimentación diésel con bomba de inyección en línea.*

A continuación se van a explicar los elementos más importantes de este sistema:

- **Bomba de transferencia:** es la encargada de aspirar el combustible del depósito y enviarla a la bomba de alta presión, pasando antes por el filtro, a una presión comprendida entre 1 y 2 bar. En muchos de los sistemas con bomba de inyección en línea, la bomba de transferencia va instalada formando un conjunto con la bomba de alta presión, como muestra la Figura 11.6. De esta forma, si la bomba en línea dispone de árbol de levas propio para accionar los elementos de bombeo, se emplea una leva adicional para actuar sobre la bomba de transferencia.

© Ediciones Paraninfo

Figura 11.6. *Bomba de transferencia instalada en el conjunto de la bomba en línea.*

Las bombas de transferencia instaladas en sistemas de bomba en línea con árbol de levas propio, suelen incluir una bomba de cebado manual que llena de combustible el circuito en caso de vaciado del mismo, sustitución del filtro de gasóleo o si el vehículo ha estado parado mucho tiempo.

La bomba de transferencia puede ser de dos tipos, cuyo funcionamiento se explica a través de la Figura 11.7, distinguiéndose:

– **De simple efecto:** la excéntrica del árbol de levas de la bomba acciona un empujador de rodillo unido a un vástago que desplaza el émbolo. Este émbolo divide el interior de la bomba en dos cámaras, una de aspiración y otra de impulsión. Durante la carrera descendente del émbolo, se genera presión en la cámara de aspiración, por lo que la válvula de aspiración permanece cerrada. Sin embargo, la válvula de presión se abre y deja paso de combustible hacia la salida de la bomba. En esta carrera no se genera presión de alimentación, ya que el aumento de presión en la salida de la bomba es compensado por el desplazamiento del émbolo, que en su parte superior aumenta el volumen de la cámara de impulsión. En la carrera ascendente del émbolo se produce la aspiración de combustible y la impulsión del mismo a presión hacia la salida de la bomba de transferencia. Cuando el émbolo asciende por la fuerza de su muelle, el volumen de la cámara de aspiración aumenta, disminuyendo la presión, por lo que la válvula de aspiración se abre y entra el combustible procedente del depósito. A su vez, el volumen de la cámara de impulsión disminuye, permaneciendo cerrada la válvula de impulsión, por lo que el combustible es enviado a presión hacia la salida de la bomba. La bomba se autorregula, ya que si el suministro de combustible es mayor que el demandado, la presión a la salida de la bomba es tal que sitúa el émbolo en una posición intermedia. Dado que el vástago no está unido solidariamente al émbolo, no se produce variación de volumen ni en la cámara de aspiración, ni en la de impulsión. En estas circunstancias la bomba trabaja en vacío y no se impulsa combustible.

– **De doble efecto:** su funcionamiento es parecido a las de simple efecto, pero ahora se aprovechan las dos carreras del émbolo para aspirar e impulsar el combustible. Al igual que en el caso anterior, el émbolo separa dos cámaras, cuya función va alternando, cuando una es la de aspiración la otra es la de impulsión y al revés. En la carrera descendente del émbolo, la cámara que aumenta de volumen es la de aspiración, abriendo la correspondiente válvula y aspirando el combustible del depósito. La otra cara del émbolo disminuye el volumen de la otra cámara, que es la de impulsión, abriendo la válvula que envía el combustible a presión. Cuando el émbolo asciende, el volumen de la cámara que antes era la de impulsión disminuye, cerrando su válvula de aspiración y abriendo la de impulsión, enviando el combustible a presión. De la misma forma, la cámara que anteriormente era de impulsión se convierte en la de aspiración. La regulación de la bomba se realiza del mismo modo que en la de simple efecto.

- **Filtro de combustible:** los sistemas de inyección diésel tienen unas tolerancias de fabricación muy ajustadas, por lo que sus elementos son de máxima precisión. Debido a esto, es necesario que el combustible que circule por ellos esté libre de impurezas, por lo que el filtrado ha de tener una elevada eficacia. El filtrado también es importante para evitar la obstrucción de las toberas de los inyectores. Los filtros empleados en motores diésel de automoción suelen ser simples, y su estructura es la que indica la Figura 11.8. Normalmente, el elemento filtrante es papel poroso impregnado por una resina fenólica. Aparte de la función de filtrado es importante decantar el agua que

© Ediciones Paraninfo

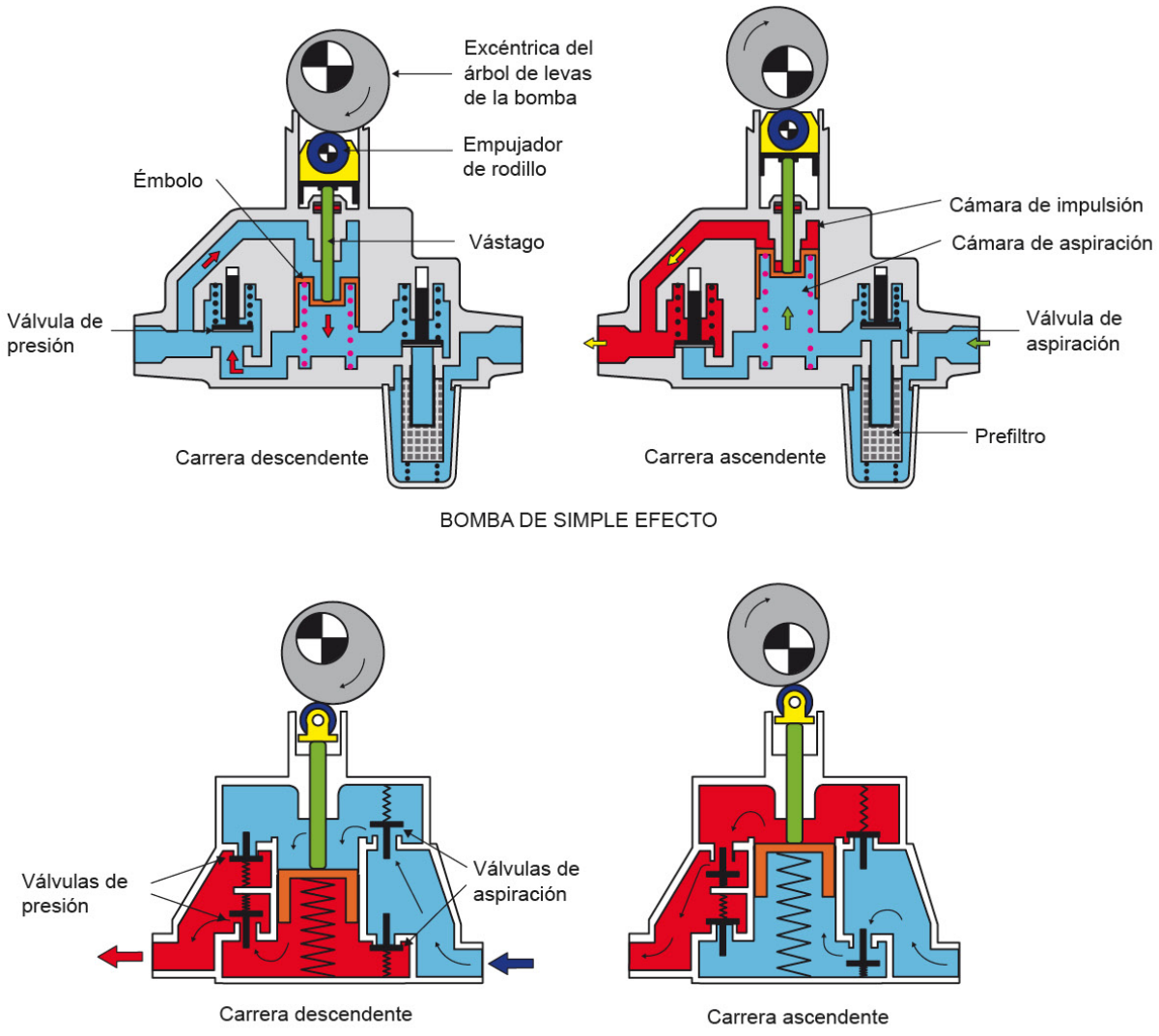


Figura 11.7. *Funcionamiento de la bomba de transferencia de simple efecto y de doble efecto.*

pueda contener el gasóleo. Como el agua tiene una mayor densidad, se deposita en la parte inferior del filtro, donde se instala un tornillo de purga para eliminar el agua. Muchos sistemas incorporan un flotador con una conexión eléctrica que informan al conductor mediante un testigo en el cuadro de instrumentos, de presencia de agua en el filtro, en cuyo caso se deberá proceder al drenaje manual.

En sistemas que no incluyen la bomba de cebado manual en la bomba de transferencia, el soporte del filtro incluye esta bomba, como aparece en la Figura 11.9. Esta disposición se puede encontrar en muchos sistemas de alimentación diésel.

En algunas instalaciones se suele instalar un prefiltro entre el depósito y la bomba de transferencia, que sirve para retener las impurezas más gruesas. Este prefiltro puede ir montado dentro de la bomba de transferencia y se puede limpiar, no siendo necesaria su sustitución periódica.

Recuerda que...

La eficacia del filtro de combustible depende del tamaño de poro del mismo, que da una idea de la impureza de menor tamaño que puede retener. Por este motivo, siempre hay que sustituir el filtro por el original del fabricante o por uno equivalente.

© Ediciones Paraninfo

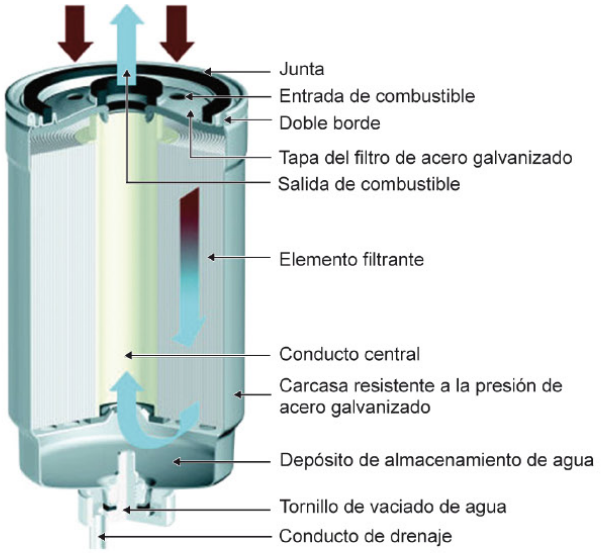


Figura 11.8. *Estructura de un filtro de gasóleo.*

Figura 11.9. *Soporte del filtro de gasóleo con bomba de cebado manual incorporada.*

En otros casos, se ponen dos filtros en serie formando un tándem, como los de la Figura 11.10.

Figura 11.10. *Disposición de dos filtros de gasóleo en tándem.*

En el circuito de alimentación hay que evitar la formación de burbujas de aire, por lo que debe purgarse de alguna forma. La mayoría de circuitos son autopurgantes y pueden ser de dos tipos, como aparece en la Figura 11.11, los que instalan una válvula de rebose en el filtro y los que la instalan en el conducto de alimentación interior de la bomba de alimentación. En ambos casos, el combustible llega sin burbujas de aire a los inyectores. Cuando el motor lleva parado mucho tiempo o en caso de hacer alguna intervención sobre el circuito de alimentación, se deben abrir los purgadores y actuar sobre la bomba de cebado manual para evacuar el aire. Después se arranca el motor y el sistema se autopurga.

Como es sabido, el combustible a bajas temperaturas tiende a formar parafinas que pueden llegar a obstruir los conductos. Por este motivo, muchos filtros incorporan una resistencia calefactora del gasóleo que entra en funcionamiento a bajas temperaturas, por medio de un termocontacto. En otras aplicaciones, el filtro monta una válvula termostática formada por un elemento bimetálico, que permite la recirculación del gasóleo sobrante de la bomba de alimentación, ya que a su paso por ella se calienta. Así, mientras el gasóleo esté a baja temperatura, parte del sobrante de la bomba pasará por el filtro y parte se enviará al retorno, ya que el bimetal permanece curvado. Cuando el gasóleo se calienta, el sobrante de la bomba se envía directamente al retorno hacia el depósito, al estar el bimetal plano. La Figura 11.12 muestra la disposición de la válvula termostática.

- **Bomba en línea:** una vez que el combustible ha sido filtrado, se introduce en la bomba de alta presión. La

© Ediciones Paraninfo

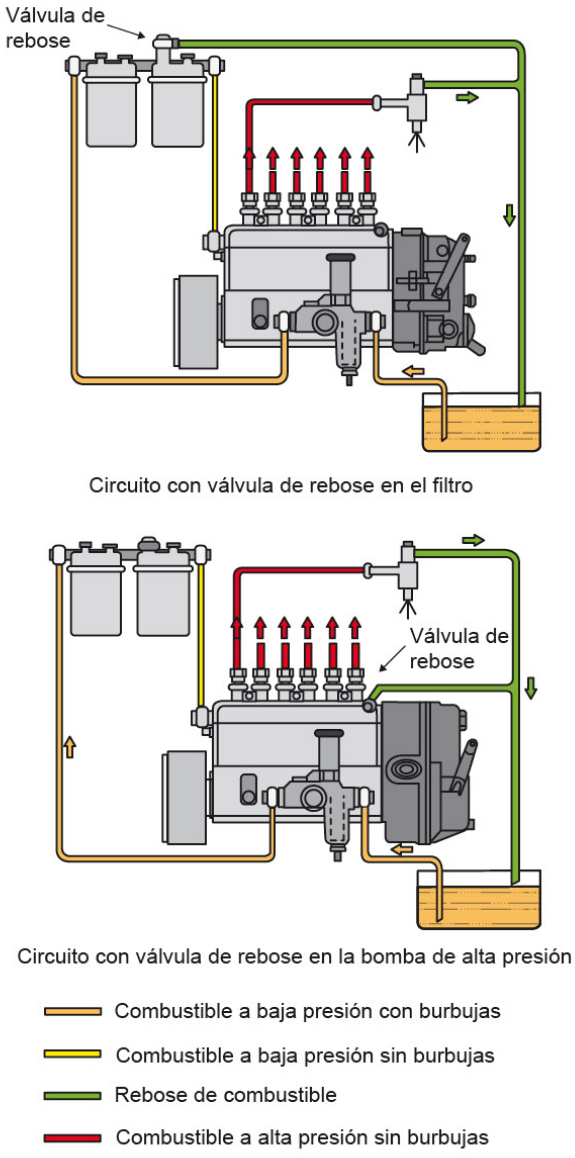


Figura 11.11. *Tipos de circuitos de alimentación autopurgantes.*

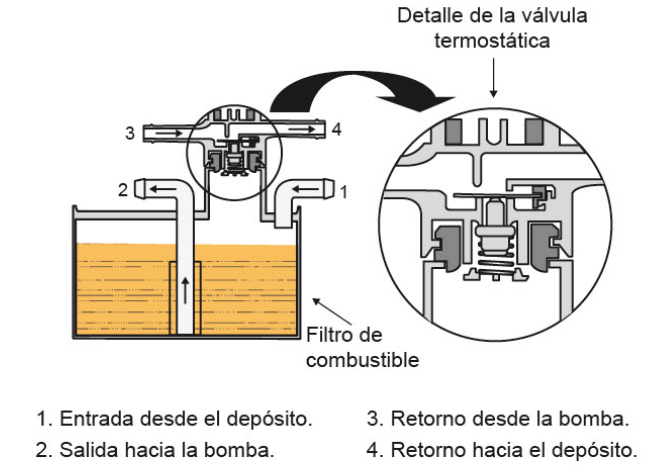


Figura 11.12. *Válvula termostática instalada en el filtro de gasóleo.*

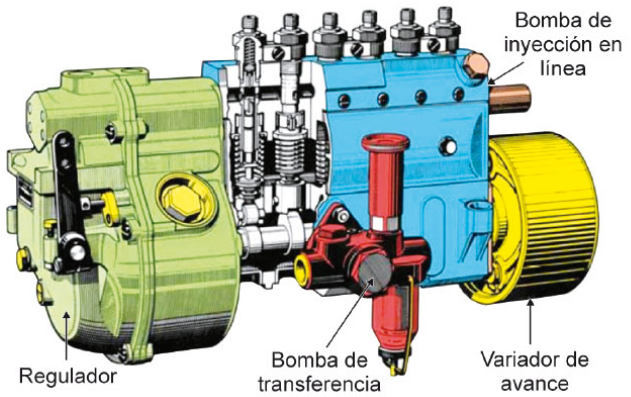


Figura 11.13. *Conjunto de la bomba de inyección en línea.*

bomba de inyección en línea se integra dentro de un conjunto con otros elementos, mostrados en la Figura 11.13.

A continuación se van a explicar los elementos más importantes del conjunto de la bomba en línea, a excepción de la bomba de transferencia, que se ha estudiado anteriormente.

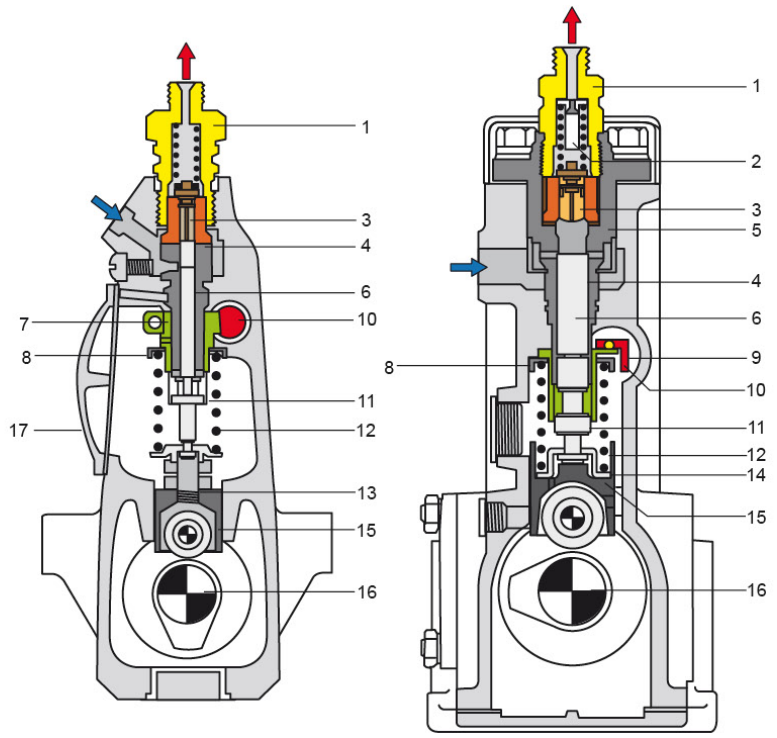
– **Bomba en línea:** la estructura de una bomba en línea es la que aparece en la Figura 11.14, donde figuran dos secciones a modo de ejemplo.

Para comprender el funcionamiento de la bomba en línea hay que estudiar el elemento de bombeo. En este tipo de bombas se tiene un elemento de bombeo por cada cilindro del motor. La pieza principal es el émbolo, que tiene dos movimientos, uno alternativo por la acción del árbol de levas de la bomba en su parte inferior interponiendo el taqué de rodillo, y otro giratorio transmitido a través de la varilla de regulación. El émbolo lleva labrada una rampa que permite regular el caudal inyectado. La Figura 11.15 muestra el movimiento alternativo del émbolo y diferentes tipos de rampas labradas en él.

Sabías que...

Siguiendo la nomenclatura de Bosch para los sistemas de alimentación, las bombas en línea de tipo A pueden alcanzar presiones de inyección de 750 bar y las de tipo P de hasta 1300 bar, siendo estas últimas especialmente aplicadas a sistemas de inyección directa.

© Ediciones Paraninfo



1. Racor de impulsión.
2. Suplemento.
3. Válvula de presión.
4. Cilindro del elemento de bombeo.
5. Elemento de brida.
6. Émbolo de la bomba.
7. Casquillo de regulación con sector dentado.
8. Platillo de muelle.
9. Casquillo de regulación con rótula.
10. Varilla de regulación.
11. Talón del émbolo.
12. Muelle del émbolo.
13. Tornillo de ajuste de carrera previa.
14. Platillo de muelle.
15. Impulsor o taqué de rodillo.
16. Árbol de levas de la bomba.
17. Tapa de registro.

Figura 11.14. *Estructura de una bomba en línea.*

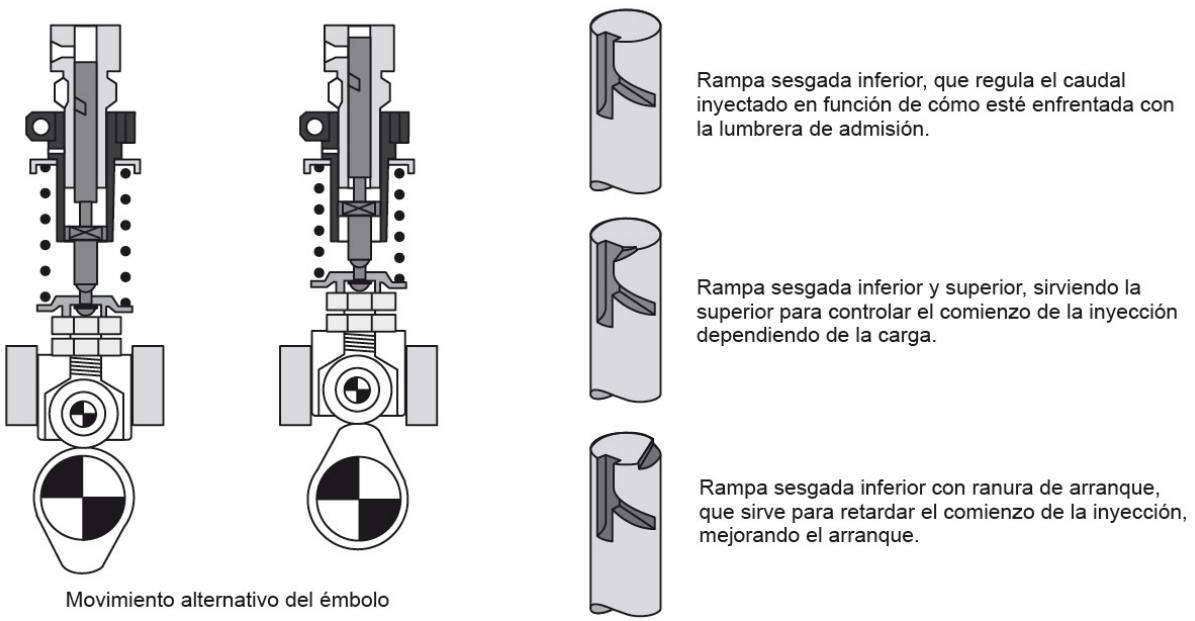


Figura 11.15. *Movimiento alternativo del émbolo y diferentes tipos de rampas labradas en él.*

El cilindro o camisa puede disponer de una o dos lumbreras. Si solo tiene una lumbrera, esta es de entrada y salida del combustible. Si tiene dos, una sirve de entrada y otra cumple la doble función de entrada y salida. La regulación del caudal de inyección se explica a través de la Figura 11.16. Además del movimiento alternativo del émbolo, la varilla o cremallera de regulación le puede transmitir un giro gracias al casquillo de regulación con sector dentado,

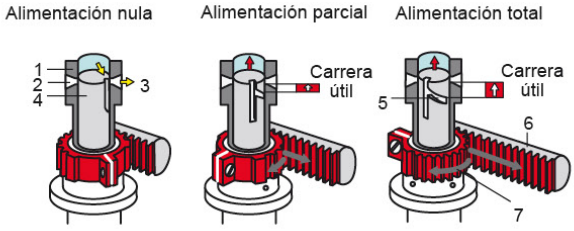
© Ediciones Paraninfo

que va embridado al émbolo. En función del enfrentamiento que tenga la rampa sesgada con la lumbrera de salida del combustible del cilindro, el émbolo tendrá una determinada carrera útil. Se pueden resumir tres casos genéricos de alimentación:

» *Alimentación nula:* en este caso, la ranura vertical del émbolo está enfrentada con la lumbrera de descarga del cilindro. Aunque el émbolo tenga un movimiento alternativo, no se genera presión, descargándose todo el combustible. Esta es la posición de parada de la bomba.

» *Alimentación parcial:* el émbolo es girado por la cremallera de forma que hay una distancia desde que su borde superior cierra la lumbrera de descarga hasta que la rampa sesgada vuelve a descubrirla. Esta distancia corresponde a la carrera útil.

» *Alimentación total:* la alimentación es plena cuando la carrera útil del émbolo es máxima.



1. Cilindro de la bomba.
2. Lumbrera de entrada.
3. Lumbrera de entrada y salida.
4. Émbolo de la bomba.
5. Rampa sesgada.
6. Varilla de regulación.
7. Casquillo de regulación con sector dentado.

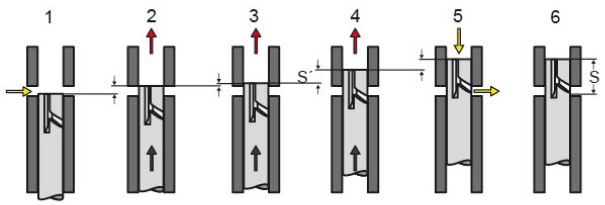
Figura 11.16. *Regulación del caudal de inyección en una bomba en línea.*

Recuerda que...

El émbolo siempre realiza la misma carrera física, que depende del perfil de la leva que actúa sobre él. Sin embargo, su carrera útil dependerá de la posición de la ranura sesgada, en función del giro provocado por el movimiento de la cremallera de regulación.

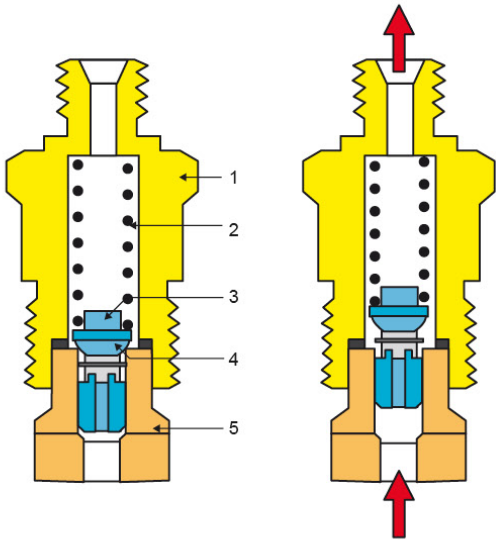
Las fases de trabajo del émbolo de la bomba están representadas en la Figura 11.17.

En la parte superior de cada elemento de bombeo se sitúa un racor de impulsión con válvula de presión, que permite un cierre rápido y preciso del inyector, a la vez que mantiene una presión residual en el tubo de conexión entre la bomba y el inyector. La Figura 11.18 muestra una sección de racor con válvula de presión.



1. PUNTO MUERTO INFERIOR: el émbolo está en su punto muerto inferior y la lumbrera de alimentación abierta, por lo que entra el combustible a la cámara de alta presión del elemento de bombeo.
2. CARRERA PREVIA: el émbolo se desplaza desde su punto muerto inferior hasta el cierre de la lumbrera de alimentación. Este recorrido es importante para determinar el comienzo de la alimentación.
3. CARRERA DE DESCARGA: el recorrido ascendente del émbolo hace aumentar la presión hasta la apertura del inyector, momento en el cual comienza la pulverización del combustible en el cilindro.
4. CARRERA ÚTIL (S´): es la distancia desde el inicio de la carrera de descarga hasta que coincide el canto de mando de la ranura sesgada con la lumbrera de descarga, siendo este último punto el final de la inyección.
5. CARRERA RESIDUAL: es el recorrido del émbolo desde la apertura de la lumbrera de descarga hasta el punto muerto superior.
6. PUNTO MUERTO SUPERIOR: es el punto en el que se invierte el sentido del movimiento lineal del émbolo. La distancia entre el punto muerto inferior y el superior constituye la carrera total del émbolo (S).

Figura 11.17. *Fases de trabajo del émbolo de la bomba.*



1. Racor de impulsión.
2. Muelle de la válvula de presión.
3. Válvula de presión.
4. Asiento de la válvula de presión.
5. Porta-válvula de presión.

Figura 11.18. *Racor con válvula de presión.*

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

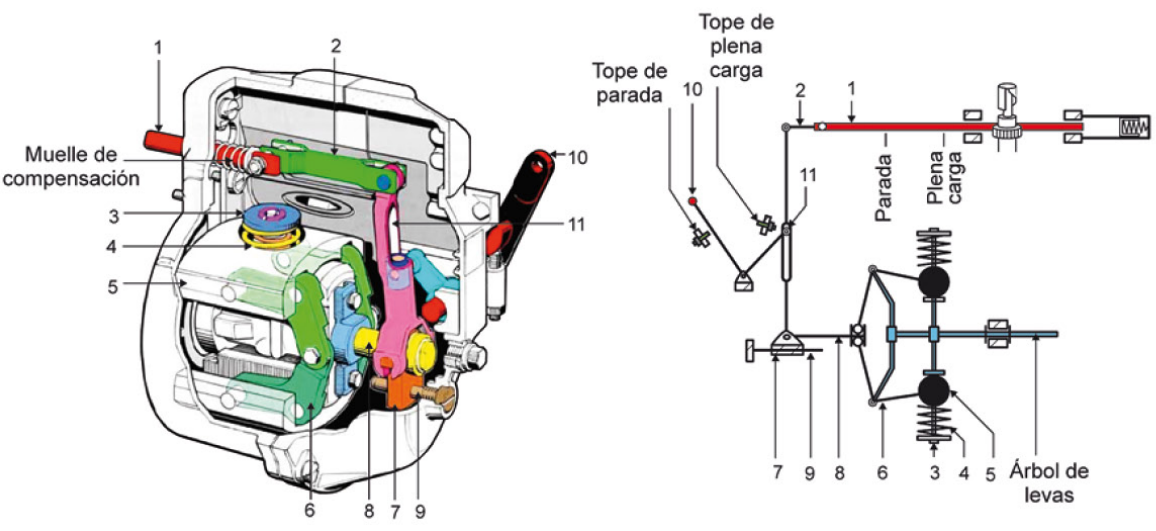
Existen otros racores de impulsión que tienen un estrangulador de retroceso. Se suelen instalar en sistemas que proporcionan grandes presiones de inyección. Su objetivo es reducir el desgaste producido en los conductos por cambios bruscos de presión o fenómeno de cavitación.

– **Regulador:** el regulador es un dispositivo necesario para tener un control preciso de la carga del motor. Por un lado se encarga de realizar un ajuste fino de la cremallera de regulación, ya que pequeños movimientos de la misma pueden influir enormemente sobre el caudal suministrado a los inyectores. Por otro lado, permite mantener un régimen de giro estable, ya que acciona de forma automática la cremallera, de manera que se evite un embalamiento del motor cuando disminuye el par resistente, por ejemplo al bajar una pendiente, o que pierda potencia cuando aumente, como subiendo una rampa. Además, mantiene un ralentí estable y limita el régimen máximo de giro del motor. Los reguladores pueden ser mecánicos, centrífugos, neumáticos, hidráulicos o electrónicos. A continuación se va a explicar el regulador centrífugo de mínima y máxima, por ser uno de los más utilizados en vehículos de turismo. Recibe este nombre porque entre la regulación de ralentí y de limitación del régimen de giro no existe regulación. Entre medias de estas dos situaciones es el conductor el que establece la regulación a través del pedal del acelerador. Los elementos principales de este regulador y el esquema de su mecanismo son los que aparecen en la Figura 11.19.

El regulador está formado por unas masas que giran gracias al movimiento transmitido por el árbol de levas de la bomba. Las masas están eslabonadas a un mecanismo de palancas articuladas que transforman su movimiento radial, debido a la fuerza centrífuga de su giro, en uno axial que desplaza el perno de mando. El perno de mando actúa sobre la deslizadera, que es obligada a desplazarse sobre el perno guía. La deslizadera está unida a la varilla de regulación a través de la palanca de regulación, por lo que el movimiento radial de las masas afecta a dicha varilla. La palanca de mando del acelerador también interviene en el mecanismo, ya que si se mueve, el dado se desliza por la colisa de la palanca de regulación.

La estructura de las masas centrífugas y sus resortes es la que se indica en la Figura 11.20. Las masas se desplazan en sentido radial a lo largo de un eje. En función del régimen de giro van comprimiendo diferentes resortes que se encargan de la regulación. El resorte exterior es el encargado de regular el ralentí y los dos interiores el régimen de giro máximo.

Muchos reguladores incorporan un mecanismo de asimilación, como el mostrado en la Figura 11.21. Cuando se



1. Varilla de regulación.
2. Horquilla de articulación.
3. Tuerca de ajuste.
4. Muelle de regulación.
5. Masa centrífuga.
6. Palanca acodada.
7. Deslizadera.
8. Perno de mando.
9. Perno de guía.
10. Palanca de mando.
11. Palanca de regulación (colisa con dado).

Figura 11.19. *Regulador de mínima y máxima y esquema de su mecanismo.*

© Ediciones Paraninfo

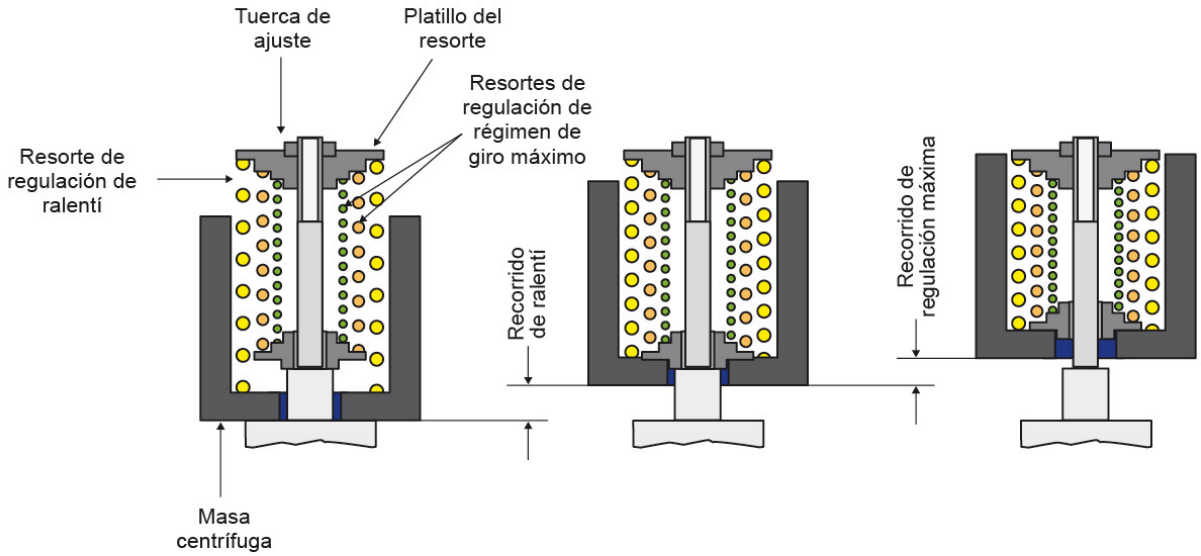


Figura 11.20. *Estructura de las masas centrífugas y sus resortes.*

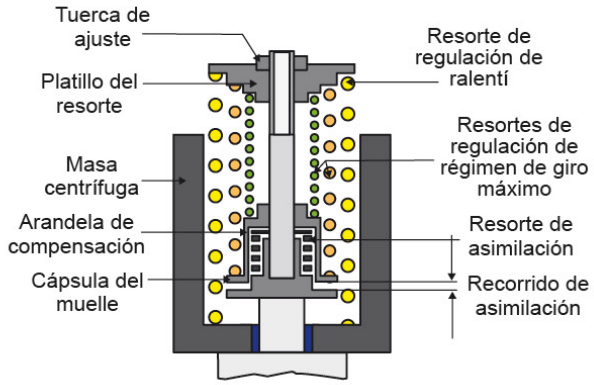


Figura 11.21. *Estructura de una masa centrífuga con mecanismo de asimilación.*

actúa sobre el acelerador, la bomba suministra un caudal determinado, que debe ir disminuyendo a medida que se alcanza el régimen de giro objetivo, dado un determinado par resistente. Para un motor diésel atmosférico en estas circunstancias, la demanda de combustible disminuye al aumentar el régimen de giro. Por otro lado, para una determinada posición de la cremallera de regulación de la bomba, esta aumenta el caudal suministrado según aumenta su velocidad de giro. El dispositivo de asimilación se encarga de establecer la llamada asimilación positiva, es decir, que disminuye un poco el caudal de alimentación a partir de un determinado régimen. Esto es posible instalando en el regulador una cápsula que encierra un resorte adicional de asimilación. Las masas inician su recorrido al régimen de ralentí, hasta empezar a comprimir el muelle de asimilación, realizando el recorrido de asimilación, calibrado con las arandelas de compensación. En este recorrido, la cremallera es desplazada en sentido de parada, disminuyendo el caudal inyectado. De esta forma, se practica una pequeña regulación entre el ralentí y el límite máximo. La Figura 11.22 representa una gráfica en la que se puede observar el caudal de alimentación a diferentes velocidades de rotación del motor y a distintos niveles de carga, quedando determinadas las fases de adaptación del mecanismo regulador.

La Figura 11.23 muestra el esquema de funcionamiento del mecanismo regulador para diferentes condiciones operativas del motor.

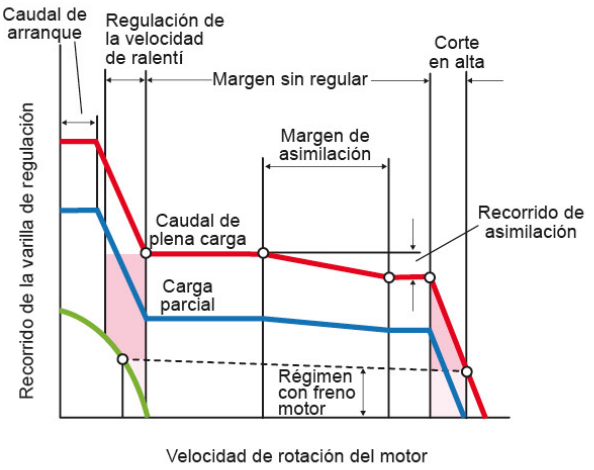
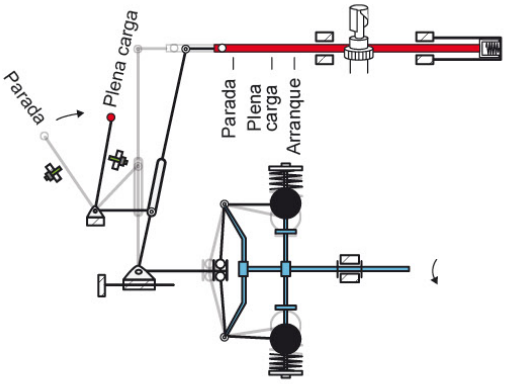
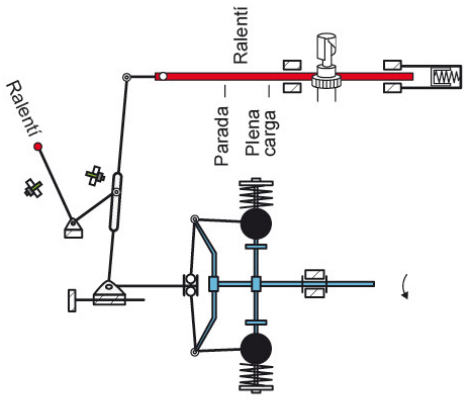


Figura 11.22. *Representación gráfica de las diferentes fases de adaptación del mecanismo regulador.*

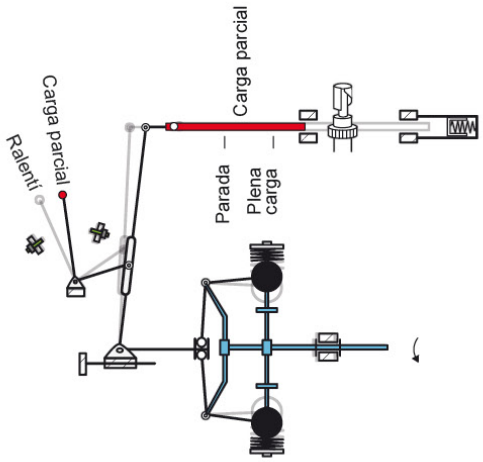
© Ediciones Paraninfo



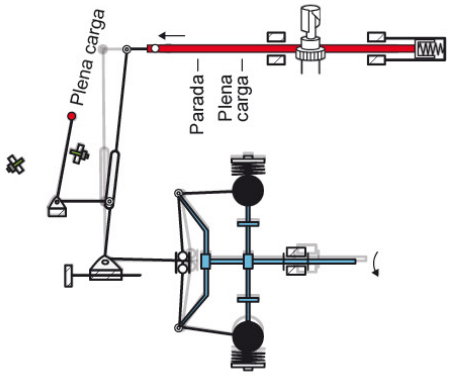
Posición de arranque: la palanca de mando se sitúa en el tope de caudal. Cuando el desplazamiento de la cremallera llega al máximo, se desplazan los contrapesos.



Posición de ralentí: los contrapesos se desplazan por el régimen de giro de ralentí.



Posición de carga parcial: en posiciones intermedias de carga parcial, los contrapesos del regulador se apoyan sin desplazamiento sobre los muelles de regulación final. El desplazamiento de la cremallera solo es posible actuando sobre la palanca de mando.



Posición de limitación del régimen de giro máximo: los contrapesos se desplazan venciendo los muelles de regulación final obligando al retroceso de la cremallera, limitando el régimen de giro máximo.

Figura 11.23. *Esquema de funcionamiento del mecanismo regulador para diferentes condiciones operativas del motor.*

Sabías que...

En motores sobrealimentados, a bajo régimen de giro, es necesario un mayor aporte de combustible, por lo que se dispone de un mecanismo de asimilación negativa, es decir, que el caudal de la bomba aumenta según lo hace su régimen de giro. A partir de un determinado régimen entra en funcionamiento el mecanismo de asimilación positiva.

Existen otros dispositivos adicionales de adaptación en los reguladores, como por ejemplo el tope de plena carga con desconexión automática de arranque o el tope de plena carga dependiente de la presión de sobrealimentación (LDA). Este último dispositivo también se conoce como Tope de Presión de Sobrealimentación (TPS) o corrector de humos, empleado en motores sobrealimentados para adaptar el caudal a plena carga.

– **Variador de avance:** en los motores diésel hay muy poco tiempo para inyectar el combustible, formar la mezcla e iniciar la combustión. Por este motivo, hay que practicar un avance del inicio de la inyección, ya que el mayor rendimiento se obtiene si la combustión empieza justo en el PMS. Aunque en el calado de la bomba se establece un avance inicial, dependiendo de la posición del cilindro 1, el avance ha de ser

© Ediciones Paraninfo

dinámico, porque debe aumentar a medida que se incrementa el régimen de giro. Para conseguir esto se monta en el conjunto de la bomba de inyección un variador de avance automático. El más comúnmente utilizado es el centrífugo, cuyo principio de funcionamiento se explica a través de la Figura 11.24. El plato (1) es movido por el motor, y a él se le unen mediante los bulones (2) las masas centrífugas (3). Las masas centrífugas se apoyan en los extremos de la placa (4), obligadas por la fuerza de los muelles expansores (5). La placa está unida al árbol de levas de la bomba. Cuando aumenta el régimen de giro, las masas centrífugas se separan y desfasan la placa en el sentido de giro de la bomba, es decir, en sentido de avance. La evolución del avance dependerá de la geometría de las superficies de contacto de la placa con las masas centrífugas.

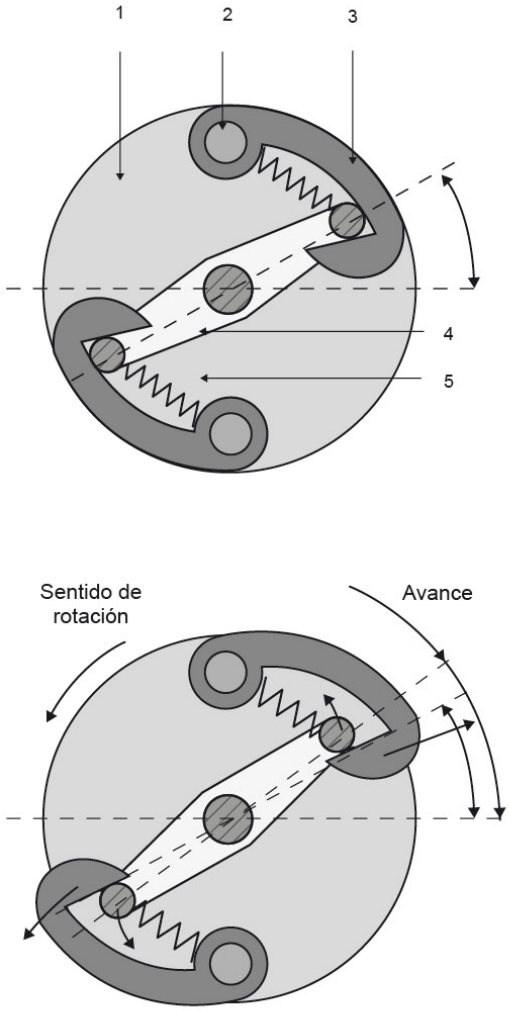


Figura 11.24. *Principio de funcionamiento del variador de avance centrífugo.*

La Figura 11.25 muestra el despiece de un variador de avance real.

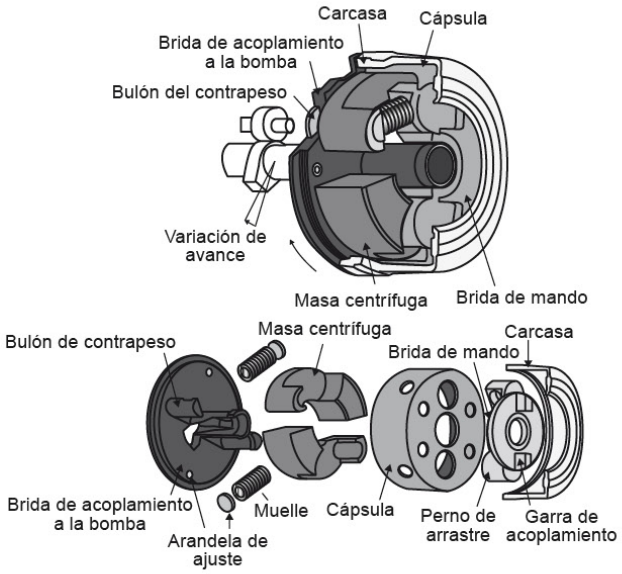


Figura 11.25. *Despiece de un variador de avance.*

- **Tuberías de alta presión:** las tuberías de alta presión, como las que pueden verse en la Figura 11.26, conducen el combustible a presión desde la bomba hasta los inyectores. En ocasiones soportan presiones superiores a

Figura 11.26. *Tuberías de alta presión.*

© Ediciones Paraninfo

1200 bar, que, junto a posibles burbujas de aire en el interior del conducto, pueden dar lugar al fenómeno de cavitación. La cavitación erosiona enormemente el interior de la tubería. Por otro lado, el ajuste con los racores ha de ser perfecto para mantener la estanqueidad. Las tuberías de alta presión se fabrican en acero de alta dureza y el espesor de las paredes suele ser mayor que el diámetro interior para evitar deformaciones por cambios bruscos de presión.

- **Inyectores:** los inyectores introducen el gasóleo a alta presión y finamente pulverizado en el interior de la cámara de combustión. El inyector, también llamado tobera, está instalado en un portainyector, como el mostrado en la Figura 11.27. La apertura del inyector se realiza por la presión del combustible, que cuando supera la presión ejercida por el muelle de presión, la aguja del inyector se levanta de su asiento y el combustible es pulverizado a la cámara de combustión por los orificios de inyección. La presión de apertura del inyector está determinada por la presión del muelle, que se puede ajustar actuando sobre el tornillo de regulación. Cuando cesa la presión del combustible, el muelle de presión empuja el perno de presión, cerrando la aguja contra su asiento.

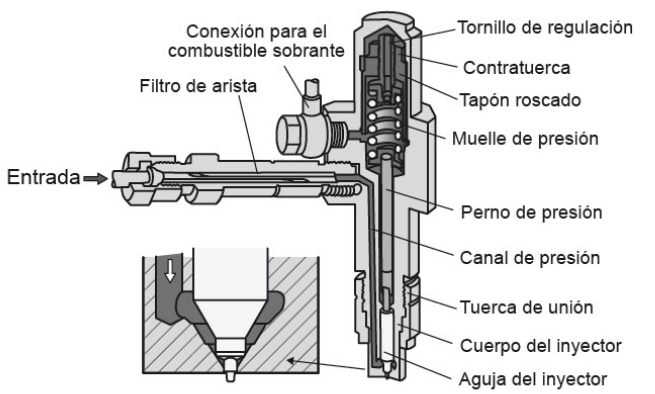


Figura 11.27. *Portainyector con inyector de espiga.*

Si el portainyector no dispone de tornillo de regulación del muelle de presión, se puede modificar la presión de este a través de arandelas calibradas.

El portainyector sujeta al inyector, lo conecta con la bomba de alta presión y regula la presión de apertura del mismo. La conexión a las tuberías de alta presión se efectúa a través de racores o mediante un tapón roscado del portainyector. El racor del tubo de presión lleva en ocasiones un filtro de arista, que retiene las partículas que pudieran desprenderse del interior de las tuberías de alta presión al operar sobre ellas o por los efectos de las vibraciones. Este filtro es indispensable en el caso de inyectores de orificios.

Sabías que...

Las partículas retenidas en el filtro de arista llegan a ser molidas durante el funcionamiento del motor por las turbulencias y vibraciones que se originan dentro del filtro. De esta forma quedan reducidas a un tamaño tan pequeño que ya no pueden perjudicar el asiento y orificios del inyector.

La aguja del inyector se lubrica con el propio gasóleo y el sobrante de combustible tras la embolada puede retornar al depósito pasando a través del perno de presión.

Los inyectores se clasifican en dos grandes grupos:

– **De espiga:** la aguja de los inyectores de espiga tiene en su extremo un tetón pulverizador de forma especial que penetra en el orificio de inyección con un ajuste muy preciso. El chorro de inyección puede variar en función de la geometría del tetón, como muestra la Figura 11.28. La espiga hace que el orificio de inyección se mantenga limpio de depósitos carbonosos. Los inyectores de espiga se utilizan en motores con alta turbulencia de aire, de inyección indirecta, con cámara de precombustión, de turbulencia o de reserva de aire. La presión de apertura del inyector oscila entre 80 y 125 bar.

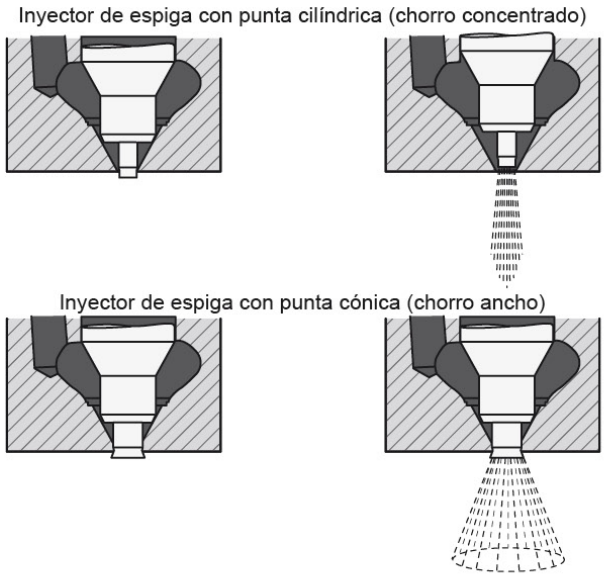


Figura 11.28. *Inyectores de espiga con diferentes formas del tetón.*

Existe un caso particular de inyector de espiga que se conoce como inyector de estrangulación, pudiéndose observar en la Figura 11.29. La punta pulverizadora hace

© Ediciones Paraninfo

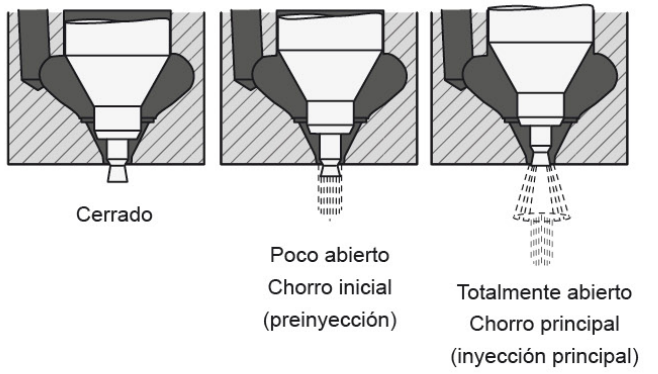


Figura 11.29. *Inyector de estrangulación.*

posible la realización de una pseudo preinyección. Según abre la aguja, al principio de su movimiento ascendente destapa una ranura anular muy estrecha, dando paso a una pequeña cantidad de combustible finamente pulverizado, por el efecto del estrangulador. A medida que continúa su ascenso, la sección de paso va aumentado y al final de la carrera ascendente se efectúa la inyección del chorro principal. Este inyector, con una cámara de combustión adecuada, provoca una combustión perfecta y una marcha suave del motor, ya que el aumento de presión en la cámara aumenta lentamente.

– **De orificios:** la aguja de los inyectores de orificios termina en una punta cónica que forma parte de su asiento. Existen modelos con un único orificio, dispuesto en el centro o lateralmente, y otros de orificios múltiples, formando un ángulo entre sí llamado ángulo de los orificios pulverizadores, que puede ser de hasta 180°. En el caso de orificios múltiples, se pueden tener hasta 12, dispuestos generalmente de forma simétrica. Este tipo de inyectores suele emplearse en motores de inyección directa y la presión de apertura de los mismos oscila entre 150 y 250 bar. La Figura 11.30 muestra la sección de un inyector de orificios múltiples.

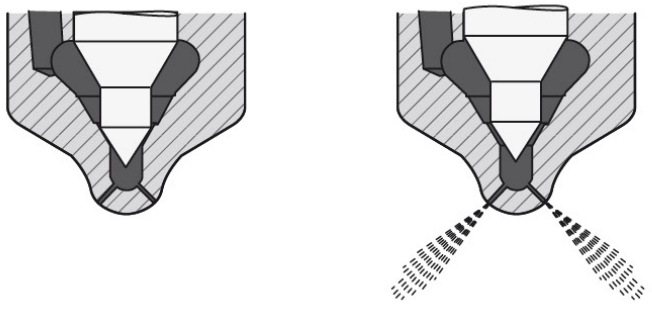


Figura 11.30. *Sección de un inyector de orificios múltiples.*

En motores de muy altas prestaciones se emplean inyectores de orificios con refrigeración por aceite. Una sección de este tipo de inyectores puede apreciarse en la Figura 11.31. El cuerpo de estos inyectores tiene tres taladros. Uno sirve para introducir el combustible y los otros dos permiten la circulación de aceite. La parte inferior del cuerpo tiene una rosca de doble paso, cuyo exterior está protegido por una envoltura de refrigeración. El aceite sale del canal de presión del portainyector y entra en el inyector. De ahí llega, por medio de uno de los dos pasos de rosca, al espacio anular, desde el cual se introduce en el otro paso de rosca para llegar al canal de salida del portainyector.

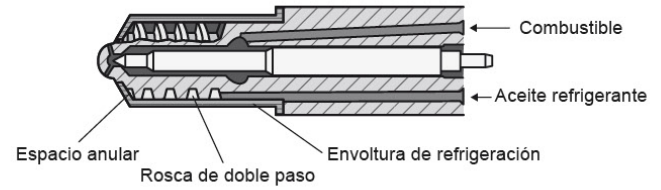


Figura 11.31. *Inyector de orificios con refrigeración por aceite.*

- **Calentadores:** para iniciar la combustión en un motor diésel es necesario comprimir el aire a alta presión para que alcance una elevada temperatura. Esto a veces no se consigue, sobre todo en el arranque en frío, por lo que es necesario algún dispositivo que caliente el aire en la cámara de combustión para favorecer la inflamación del combustible. Los calentadores van instalados en la cámara de precombustión o de turbulencia, en los motores de inyección indirecta, y en la cámara de combustión, en los motores de inyección directa que lo instalan. Consisten en una resistencia calefactora capaz de alcanzar una temperatura de 800 a 1000 °C.

Sabías que...

En algunos motores diésel de gran cilindrada se precalienta el aire aspirado con unos calentadores de llama.

Actualmente existen dos tipos principales de calentadores:

– **De varilla metálica:** la Figura 11.32 muestra la estructura de un calentador de varilla metálica. El filamento o espiral calentadora se pone incandescente al recibir corriente, calentando su alrededor. La espiral reguladora está soldada al electrodo central conductor de corriente y a la espiral calentadora. Al subir la temperatura, aumenta también la resistencia eléctrica de la espiral reguladora, reduciéndose el flujo de corriente a la espiral calentadora en función de la temperatura.

© Ediciones Paraninfo

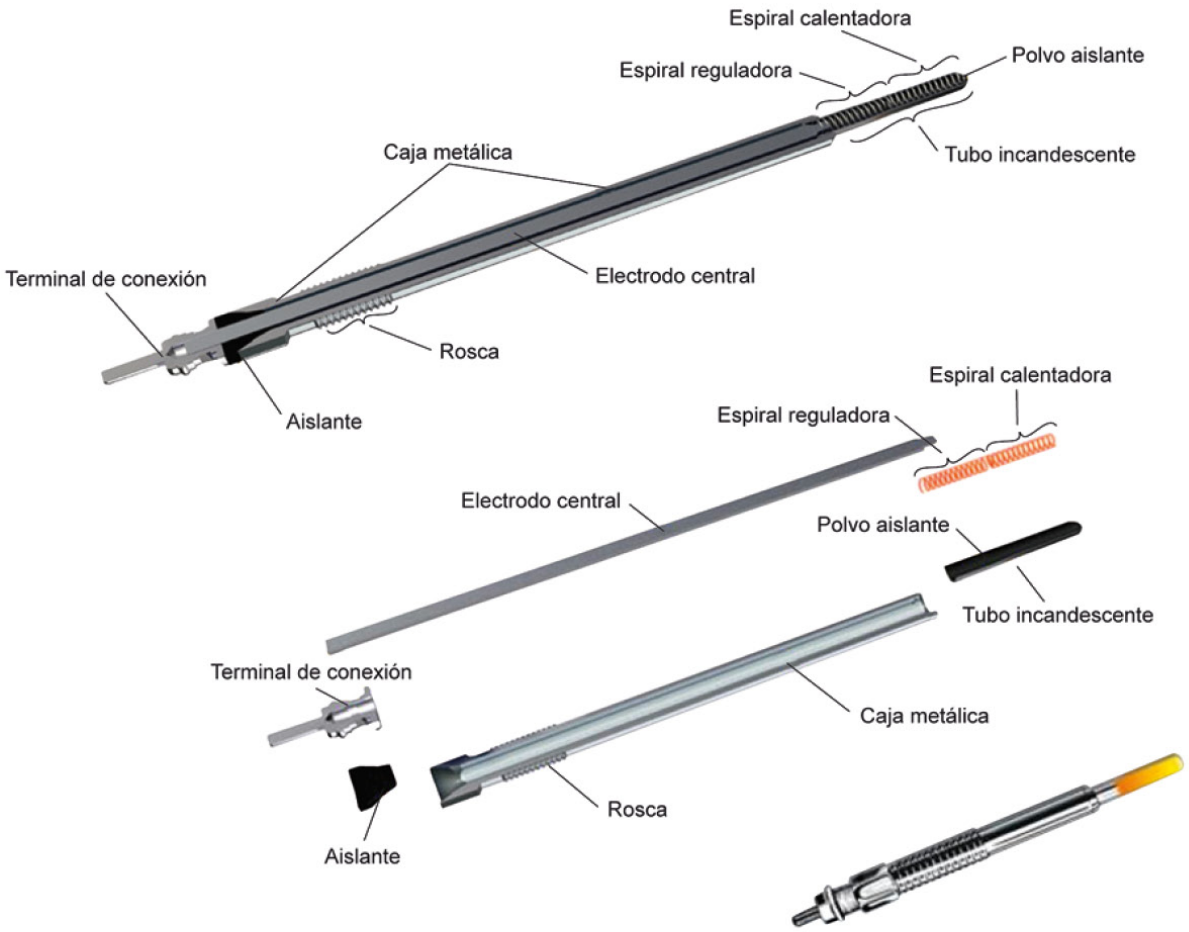


Figura 11.32. *Estructura de un calentador de varilla metálica.*

El interior del calentador está relleno de un polvo especial comprimido de óxido de magnesio, haciendo de aislante eléctrico y a su vez de conductor del calor, además de proteger a los filamentos de sacudidas y vibraciones. El tubo incandescente está formado por una aleación resistente al calor y a la corrosión de los gases de combustión, protegiendo también a las espirales. El electrodo central permite conectar eléctricamente las espirales. A través de la rosca el calentador se fija a la culata. La rosca se suele fabricar por laminación y no por arranque de viruta para no dañar el orificio de la culata. El calentador es alimentado a través de la conexión eléctrica.

– **Cerámicos:** la Figura 11.33 muestra la estructura de un calentador cerámico. La combinación de la espiral calentadora y el recubrimiento cerámico permite alcanzar temperaturas más elevadas y tiempos de precalentamiento muy cortos gracias a la extraordinaria conductividad térmica. Además, este tipo de calentadores son más finos, por lo que son óptimos para motores modernos con poco espacio para montar sus elementos auxiliares. La espiral calentadora es de metal, pero de un punto de fusión más elevado que en los calentadores convencionales. El revestimiento cerámico protege a la espiral y conduce el calor muy rápidamente. El resto de elementos, como la espiral reguladora, el elemento central, la rosca y la conexión eléctrica son similares a los de los calentadores convencionales.

El sistema de precalentamiento está temporizado por una unidad electrónica que controla la activación de los calentadores en función de diferentes parámetros. Al accionar la llave de contacto, la unidad de control alimenta a los calentadores durante un periodo de tiempo que depende de la temperatura ambiente, iluminándose un testigo en el cuadro de instrumentos. Cuando el testigo se apaga, se puede proceder con el arranque del motor. Tras el arranque, en función de la temperatura, la unidad de control puede seguir alimentando los calentadores, de forma continua o intermitente.

© Ediciones Paraninfo

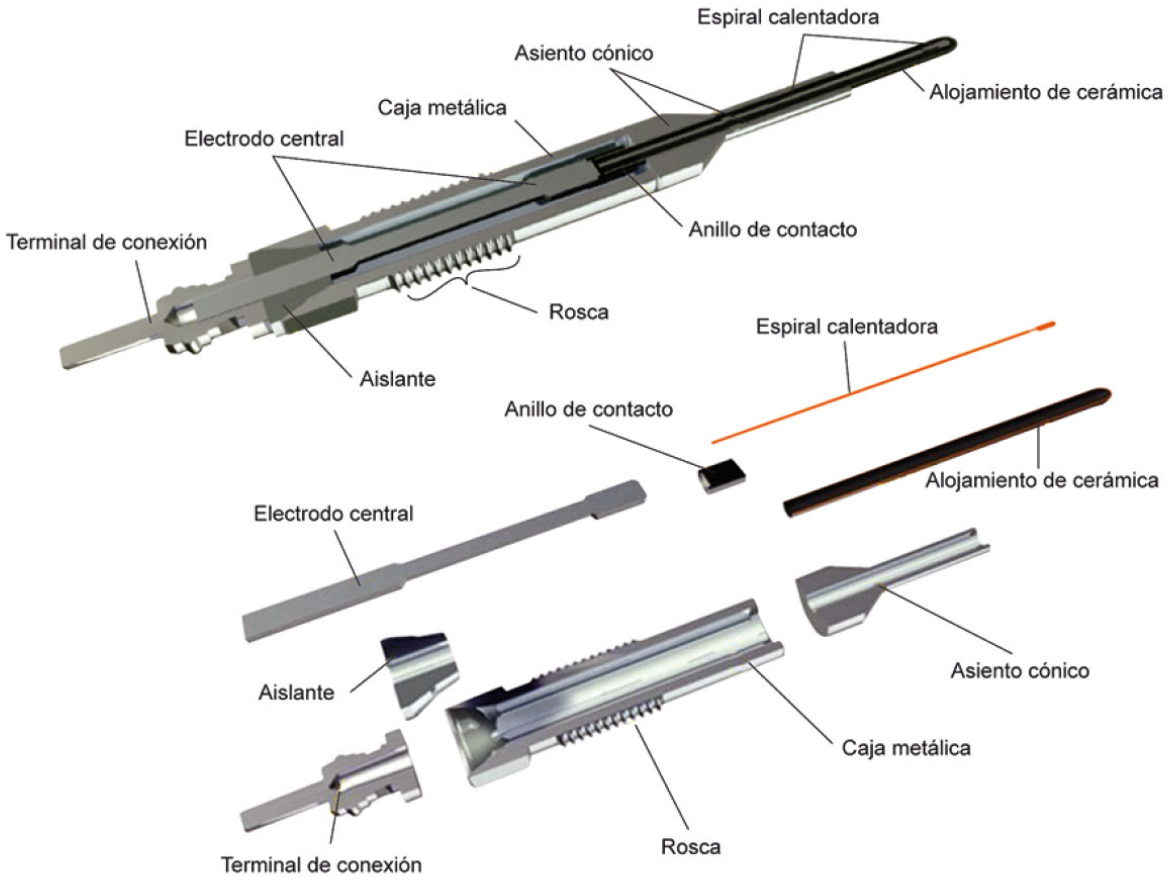


Figura 11.33. *Estructura de un calentador cerámico.*

11.2.2. Evoluciones y otros sistemas

Otro tipo de bombas de inyección en línea son las que carecen de árbol de levas propio, por lo que los elementos de bombeo son accionados por el árbol de levas del motor. La transmisión del movimiento puede hacerse con impulsor de rodillo o sin él. Normalmente se emplean en motores monocilíndricos aunque hay aplicaciones para 2, 3 y 4 cilindros. El principio de funcionamiento es semejante al de las bombas en línea convencionales. La Figura 11.34 muestra dos ejemplos de este tipo de bombas, PF y PFR de la marca Bosch.

La mayor evolución de los sistemas de inyección diésel con bombas de inyección en línea es la sustitución de la regulación mecánica por la regulación electrónica diésel, denominada EDC (*Electronic Diesel Control*). La Figura 11.35 muestra una relación general de los componentes EDC para bombas de inyección en línea.

Muchos de los sensores empleados en los sistemas de regulación electrónica diésel son similares a los de los sistemas de inyección de gasolina.

Las diferentes funciones de regulación posibles con un sistema EDC son las que aparecen en la Tabla 11.1.

TABLA 11.1

Caudal límite	Inmovilizador electrónico
Intervención externa del par	Control de precalentamiento
Limitación de velocidad de marcha	Desconexión del aire acondicionado
Corrección de altitud	Calefacción adicional del líquido refrigerante
Regulación de presión de sobrealimentación	Regulación de suavidad de marcha
Regulación de ralentí	Regulación de compensación de caudal
Regulación del número de revoluciones intermedio	Regulación de la recirculación de los gases de escape
Amortiguación activa de sacudidas	Regulación del comienzo de inyección con sensor

© Ediciones Paraninfo

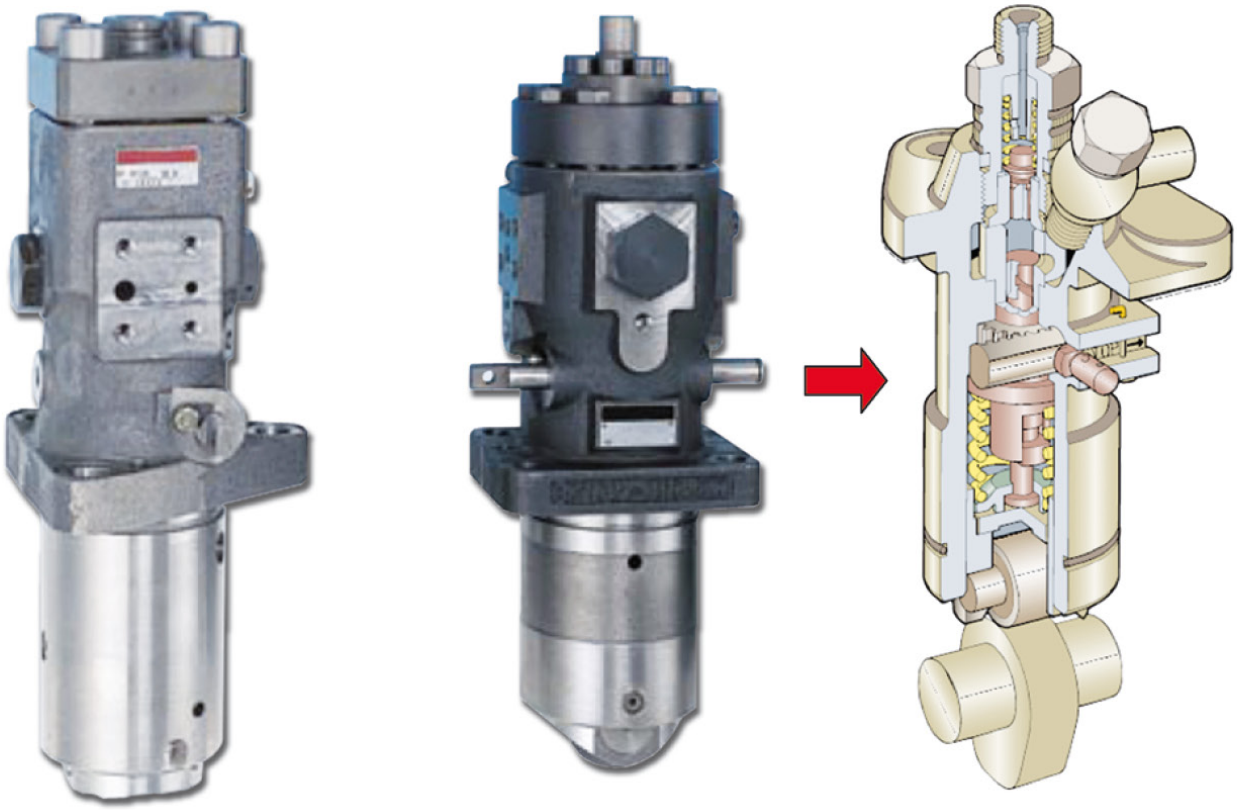


Figura 11.34. *Bombas sin árbol de levas propio PF y PFR de la marca Bosch.*

Las bombas de inyección en línea electrónicamente reguladas, como el sistema PE-EDC de Bosch, pueden modificar el caudal de inyección y el comienzo del suministro. Esto se explica a través de la Figura 11.36. El mecanismo de control de la varilla de regulación está formado por un electroimán. Cuando el electroimán está sin excitación, el muelle empuja la varilla de regulación hacia la posición de parada, cortando el suministro de combustible. Si se aplica corriente al electroimán, aumenta el recorrido de regulación venciendo la fuerza del muelle, incrementándose el caudal inyectado. El control de la intensidad lo lleva a cabo la unidad de control mediante una señal de tipo PWM (*Pulse Wide Modulation*), donde se modifica la anchura del pulso. La unidad de control gobierna la bomba, de forma que para un determinado régimen de giro, calcula el caudal teórico y ajusta el recorrido de regulación. Para el comportamiento durante la marcha, la unidad de control tiene grabados parámetros similares al regulador de mínima y máxima. El sensor de recorrido de regulación se encarga de controlar la posición real de la varilla, cerrando el sistema de control. El comienzo del suministro se regula con otro electroimán que actúa sobre la corredera de elevación. Este electroimán también es gobernado por la unidad de control a través de una señal PWM. Otra función es la de parada con llave de contacto, que sustituye al sistema de paro manual, mediante el sistema ELAB o válvula eléctrica de parada.

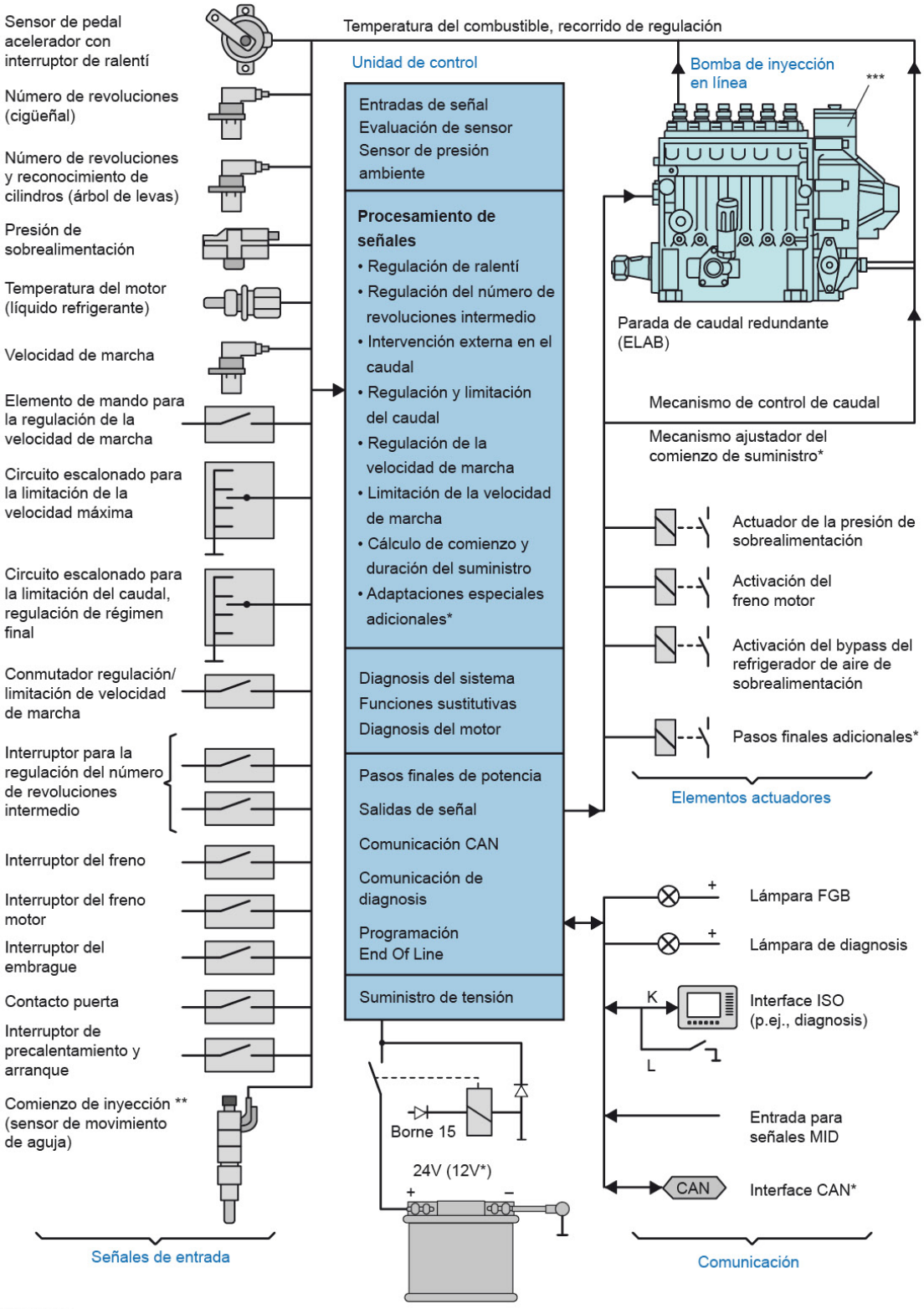
11.2.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones

El mantenimiento básico de los sistemas de inyección con bomba en línea es el mismo que el de cualquier sistema de alimentación, debiendo cambiar los filtros de aire y combustible por los equivalentes prescritos por el fabricante y con la periodicidad indicada.

En cuanto a las operaciones a realizar sobre el sistema, habrá que atender a tres elementos principales: el conjunto de la bomba, los inyectores y los calentadores. A continuación se describen los procedimientos genéricos sobre estos elementos.

- **Bomba:** en caso de avería de la bomba de inyección, deberá comprobarse en un banco de pruebas, como el

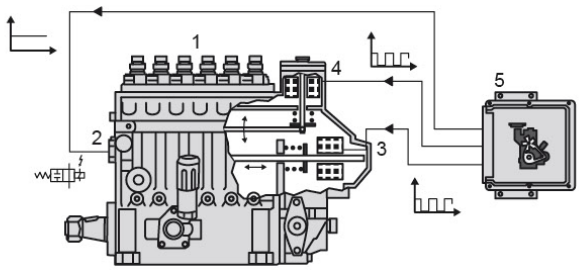
© Ediciones Paraninfo



* opcional
** en bombas de inyección en línea con corredera de elevación
+++ mecanismo ajustador del comienzo de suministro en bombas de inyección en línea con corredera de elevación

Figura 11.35. *Relación general de los componentes EDC para bombas de inyección en línea.*

© Ediciones Paraninfo



1. Bomba de inyección en línea.
2. Válvula eléctrica de parada (ELAB).
3. Mecanismo de control de la varilla de regulación (caudal de inyección).
4. Mecanismo de control de la corredera de elevación (comienzo de suministro).
5. Unidad de control del motor.

Figura 11.36. *Componentes de activación para la inyección de las bombas en línea con corredera de elevación PE.*

mostrado en la Figura 11.37. Esto debe llevarse a cabo siguiendo los procedimientos de diagnóstico del fabricante y con el utillaje adecuado.

Figura 11.37. *Banco de pruebas de una bomba en línea.*

Sabías que...

Los sistemas con regulación electrónica EDC pueden verificarse con máquina de diagnosis.

Las comprobaciones fundamentales sobre banco de ensayo son las que se citan a continuación:

- Fugas.
- Presión de alimentación de la bomba de transferencia.
- Estanqueidad de cada elemento de bombeo.
- Caudales suministrados por cada elemento de bombeo.
- Momento de inicio de la inyección.
- Regulador.
- Variador de avance.

Una vez comprobada la bomba, debe instalarse en el motor del vehículo y proceder a su calado. De forma orientativa, a continuación se enumeran los pasos a seguir para realizar esta operación:

- Situar el cigüeñal en la posición indicada por el fabricante e instalar la bomba haciendo coincidir las marcas de calado. Posteriormente se retira la tubería de alta presión del cilindro 1, sustituyéndola por un tubo de desbordamiento, también llamado de cuello de cisne, como el mostrado en la Figura 11.38. Hay que situar la cremallera de control en la posición de plena carga. Una vez hecho esto, se mueve el cigüeñal en el sentido de giro del motor hasta que el combustible deje de salir por el tubo de desbordamiento. En estas circunstancias, el cigüeñal debe estar situado en la posición indicada por el fabricante. El proceso se repite volteando el cigüeñal un par de vueltas más, debiéndose observar que el combustible deja de salir en el mismo punto. Otra opción es, en lugar de emplear un tubo de desbordamiento, utilizar un reloj comparador para observar el movimiento del émbolo, como indica la Figura 10.39. Para hacer esta operación hay que retirar el soporte de la válvula de suministro del cilindro 1 y situar en su lugar un adaptador adecuado para introducir el comparador.

Figura 11.38. *Utilización de un tubo de desbordamiento para el calado de la bomba.*

- Apretar los tornillos o tuercas de sujeción, si todo está correcto tras el punto anterior.
- Conectar las palancas, varillas, cables y tuberías.
- Purgar el circuito.
- Verificar y regular las varillas y palancas de control.
- Arrancar el motor y comprobar que no existen fugas.

© Ediciones Paraninfo

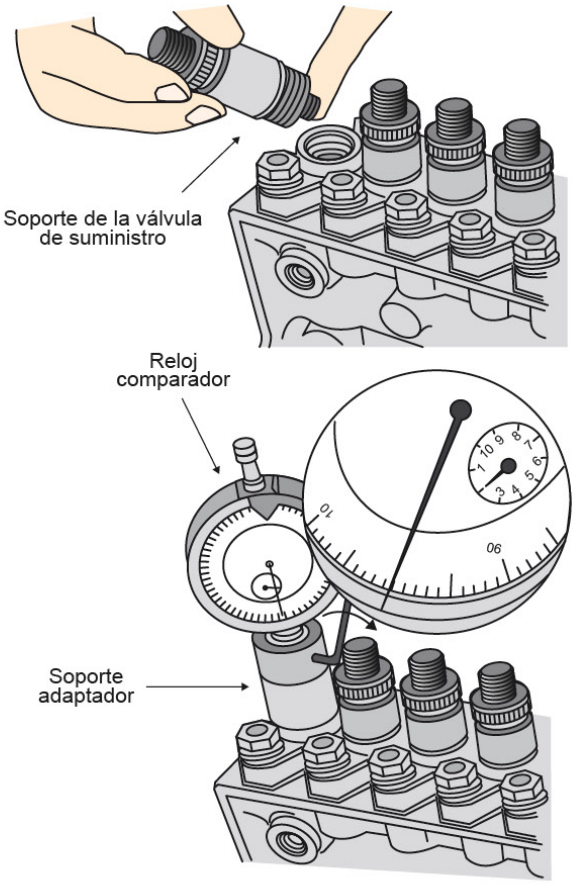


Figura 11.39. *Utilización de un reloj comparador para el calado de la bomba.*

– Verificar y regular la velocidad de ralentí. Para realizar esta operación hay que instalar un cuentarrevoluciones o tacómetro de precisión. Se arranca el motor, permitiendo que alcance su temperatura de régimen. Posteriormente se actúa sobre el tornillo de ajuste de ralentí hasta obtener en el tacómetro la lectura correcta.

- **Inyectores:** los inyectores se pueden limpiar externamente con una varilla de latón, más blando que el material del inyector para no dañar sus superficies y gasolina o gasóleo, como muestra la Figura 11.40. La aguja debe limpiarse con un trapo limpio y, en caso de tener incrustaciones carbonosas, se puede instalar en un torno y limpiar las partes afectadas con un palito de madera humedecido en aceite. Los elementos desmontados para su limpieza deben permanecer en un baño de gasóleo hasta que se monten. Antes de colocar los inyectores en el portainyector, hay que cuidar que el entorno esté limpio y libre de polvo.

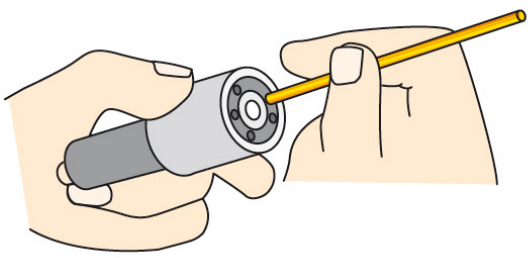


Figura 11.40. *Limpieza exterior del inyector.*

Recuerda que...

Nunca deben emplearse elementos abrasivos para limpiar el inyector, como papel de lija, rascadores, etc.

Recuerda que...

Cada aguja forma con el cuerpo del inyector un conjunto inseparable, no debiéndose mezclar con los de otros inyectores.

Una vez limpios los inyectores, puede procederse a su comprobación y puesta a punto. Para ello se dispone de bancos de pruebas de inyectores, como el de la Figura 11.41. Estos dispositivos consisten básicamente en una bomba, un manómetro y un soporte para el inyector. La bomba suministra gasóleo a presión al inyector y a través del manómetro se comprueba su presión de apertura. Además se puede observar la forma de pulverización. Si la presión de apertura no es correcta, se puede actuar sobre el tornillo de reglaje de la presión del muelle del inyector.

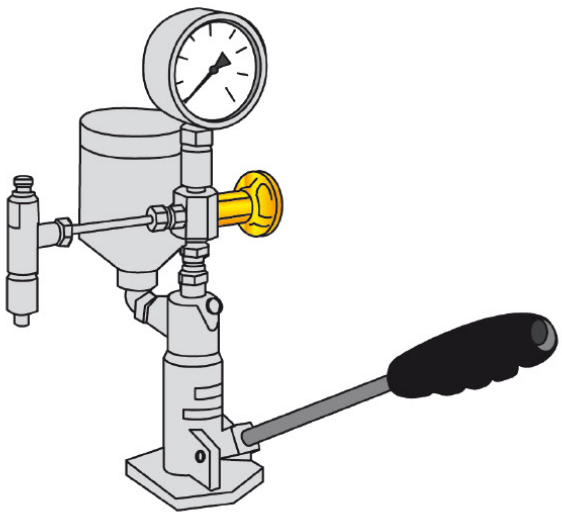


Figura 11.41. *Banco de pruebas de inyectores.*

© Ediciones Paraninfo

- **Calentadores:** como muestra la Figura 11.42, se pueden hacer diferentes comprobaciones de los calentadores, detalladas a continuación:
  - **Comprobación de alimentación:** conectando un voltímetro entre el terminal de uno de los calentadores y masa, al accionar la llave de contacto se debe leer la tensión de batería, pasando a 0 V tras un tiempo determinado por la unidad de control de precalentamiento.
  - **Comprobación de incandescencia:** si se conecta el calentador a una batería con las pinzas y cables adecuados, este debe ponerse incandescente.
  - **Comprobación de valor óhmico:** con un polímetro en posición de resistencia, se comprueba el valor óhmico del calentador, que será de alrededor de 1 Ω.
  - **Comprobación de continuidad:** esta operación se hace con una lámpara de comprobación situada en serie entre la conexión eléctrica de alimentación y la conexión eléctrica del calentador. Al accionar el contacto, la lámpara debe encenderse durante el tiempo de precalentamiento, apagándose después. Si esto se cumple, significa que el calentador tiene continuidad.

En cualquier caso, si hubiera alguna anomalía, puede ser debido al calentador, a la instalación eléctrica o a la unidad de control de precalentamiento.

11.3. Sistemas con bomba de inyección rotativa de émbolo axial

11.3.1. Características, componentes y funcionamiento

El esquema general de un sistema con bomba de inyección rotativa de émbolo axial es el que puede verse en la Figura 11.43.

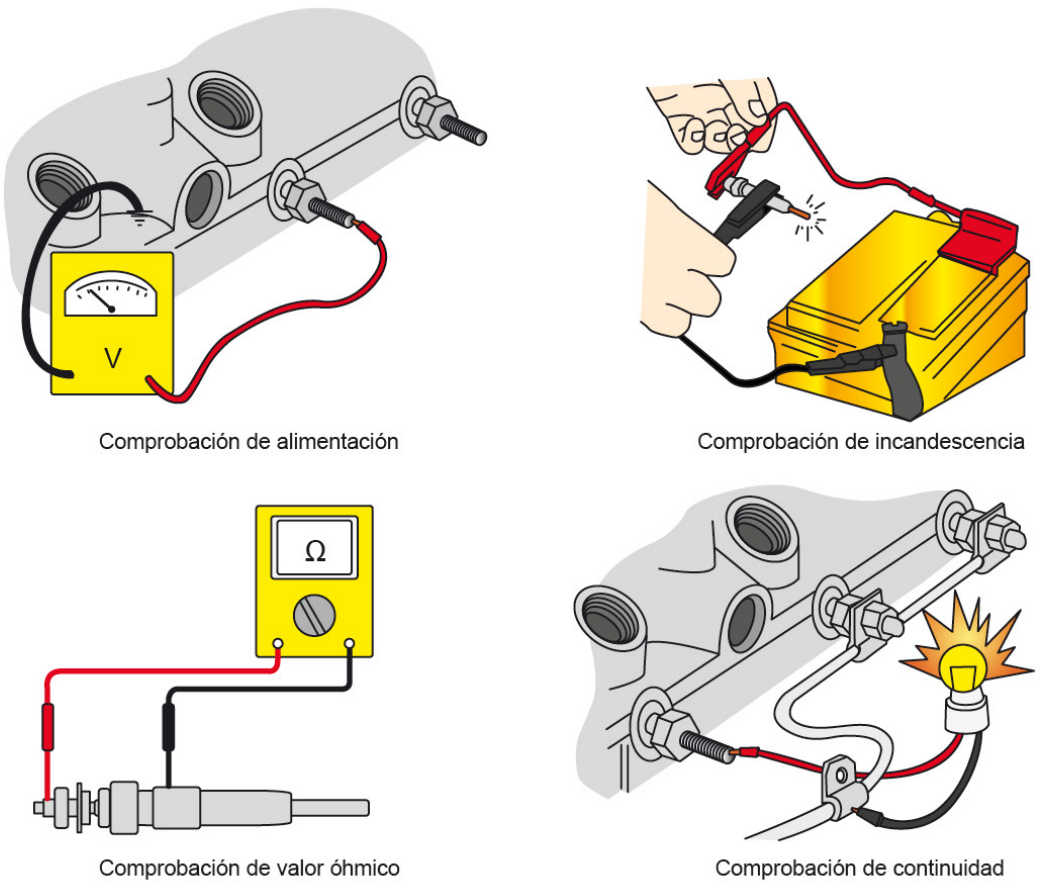
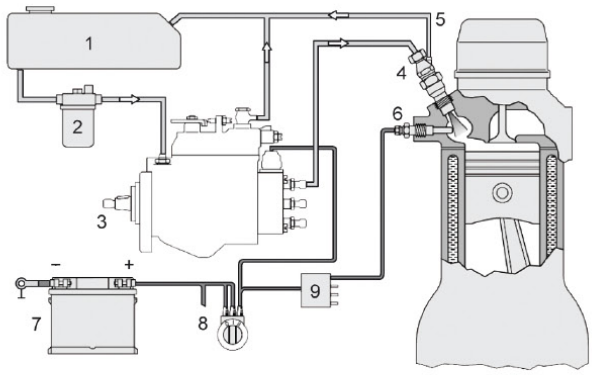


Figura 11.42. *Comprobaciones de los calentadores.*

© Ediciones Paraninfo



1. Depósito de combustible.
2. Filtro de combustible.
3. Bomba de inyección rotativa de émbolo axial.
4. Inyector.
5. Conducto de retorno.
6. Calentador.
7. Batería.
8. Llave de contacto.
9. Unidad de control de precalentamiento.

Figura 11.43. *Esquema general de un sistema con bomba de inyección rotativa de émbolo axial.*

La Figura 11.44 muestra con más detalle los elementos del circuito, especialmente la bomba rotativa y los conductos de aspiración, alta presión y retorno.

A la vista de lo anterior, puede deducirse que comparte los mismos elementos que el sistema con bomba en línea, a excepción de la bomba. En ocasiones el filtro de gasóleo puede ser de cartucho intercambiable, cuya estructura y ejemplo aparece en la Figura 11.45.

En muchos sistemas, si la bomba de cebado manual no se instala en el filtro, puede disponerse en el circuito de alimentación, siendo una bomba de pera.

Recuerda que...

Al sustituir los filtros de gasóleo de cartucho intercambiable, también hay que reponer la junta tórica, debiendo tener cuidado con la misma durante su instalación.

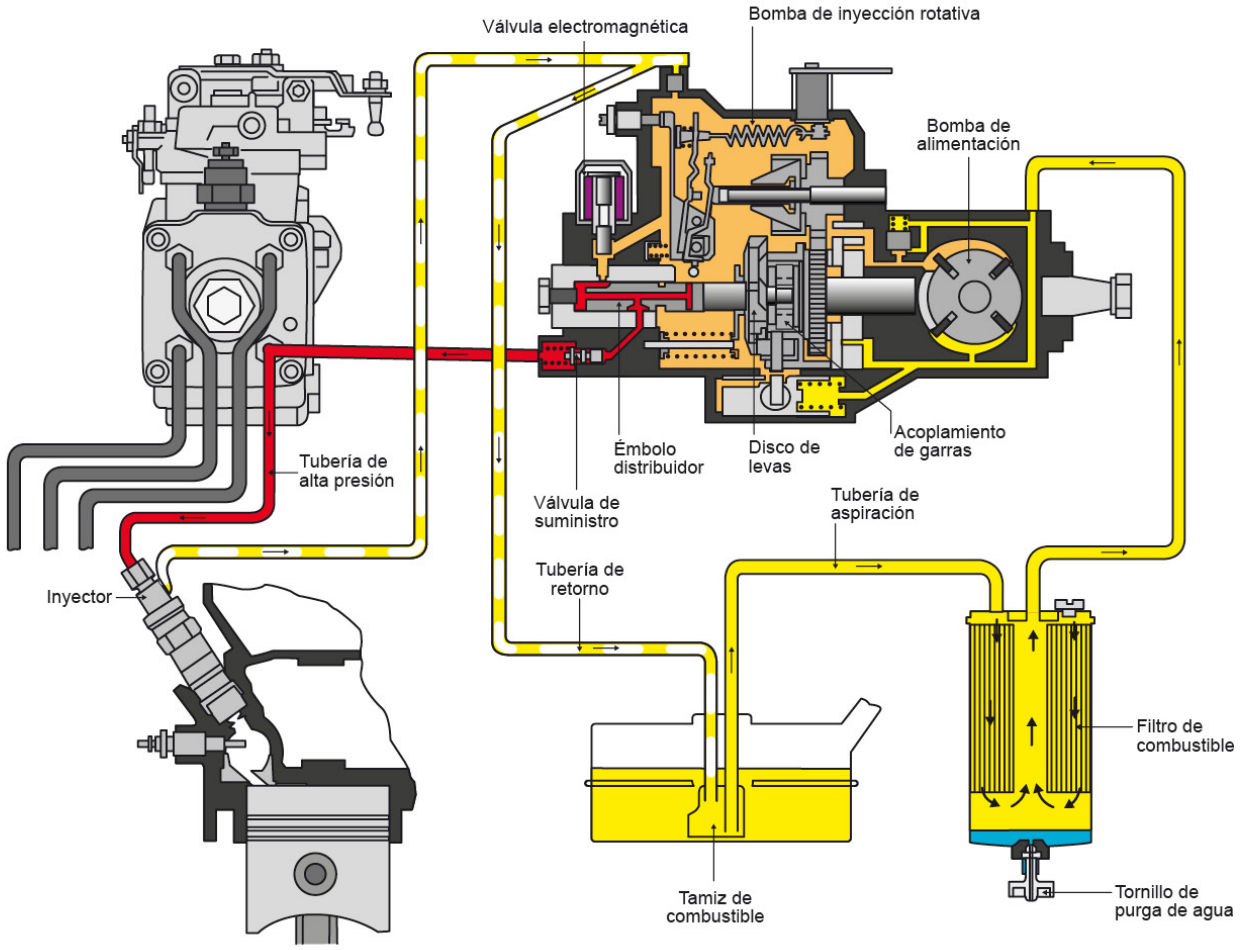


Figura 11.44. *Esquema general detallado de un sistema con bomba de inyección rotativa de émbolo axial.*

© Ediciones Paraninfo

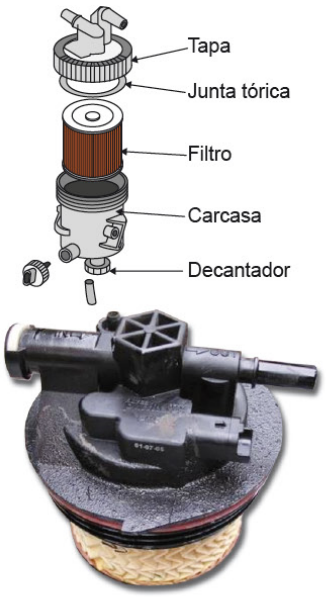
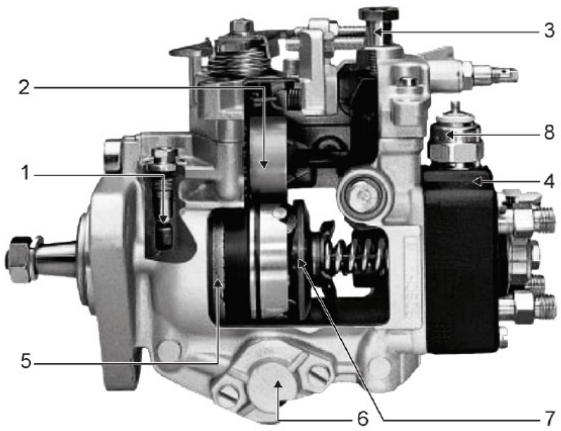


Figura 11.45. *Estructura y ejemplo de un filtro de gasóleo de cartucho intercambiable.*

A continuación, se va a proceder al estudio detallado de la bomba rotativa de émbolo axial, por ser el elemento más característico de este sistema, basando la explicación en una bomba de tipo VE de la marca Bosch.

En la Figura 11.46 puede verse una bomba seccionada, donde se indican sus partes fundamentales.



1. Válvula de regulación de presión.
2. Conjunto del regulador.
3. Reductor de presión.
4. Cabeza distribuidora y bomba de alta presión.
5. Bomba de transferencia.
6. Variador de avance.
7. Disco de levas.
8. Electroválvula de corte de combustible o de paro.

Figura 11.46. *Partes fundamentales de una bomba Bosch VE.*

La Figura 11.47 muestra un esquema de la bomba, donde pueden apreciarse los circuitos hidráulicos interiores. Hay que destacar que en esta figura y en otras, la bomba de

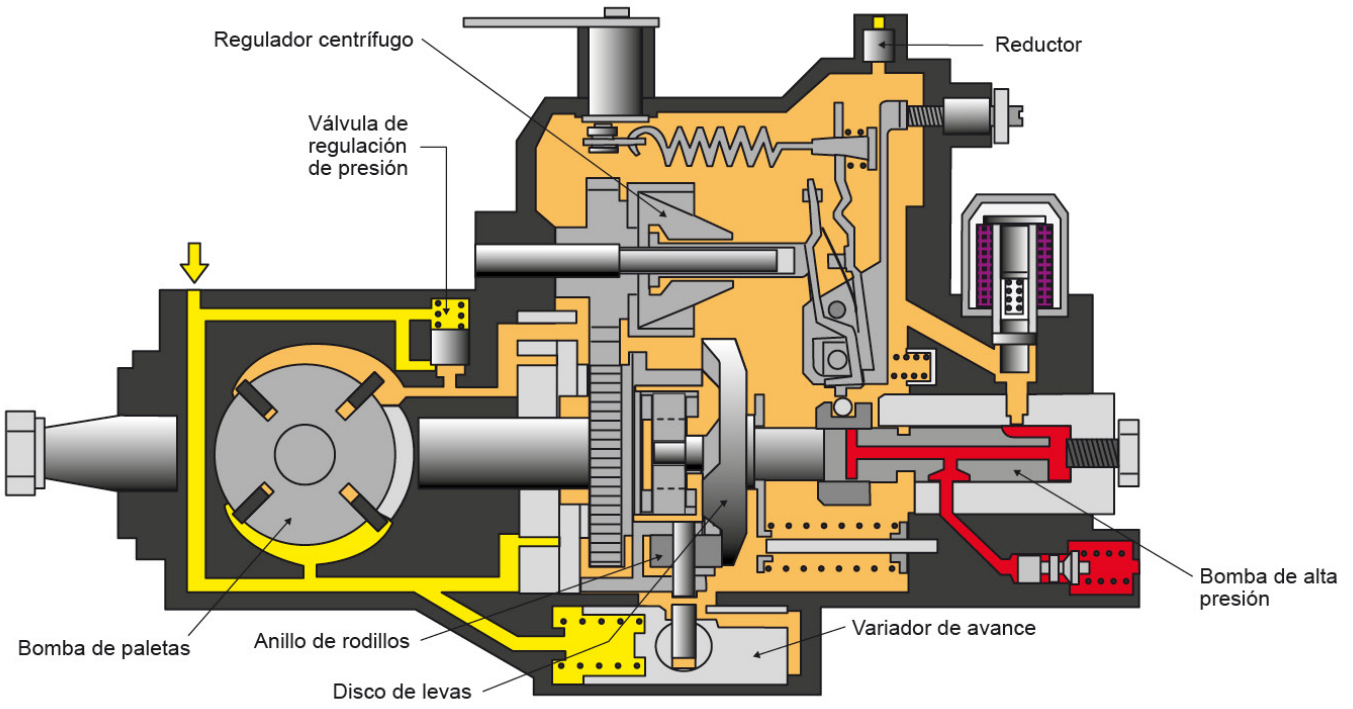


Figura 11.47. *Esquema de la bomba Bosch VE.*

© Ediciones Paraninfo

alimentación o de transferencia, que es de aletas, y el variador de avance, aparecen girados 90° para ayudar a representar con mayor claridad el circuito hidráulico.

Dentro de la bomba, se distinguen cinco grupos funcionales principales, representados en la Figura 11.48, que son los siguientes:

1. Cuerpo de la bomba de transferencia con válvula de regulación de presión.
2. Cabeza distribuidora y bomba de alta presión.
3. Conjunto del regulador centrífugo.
4. Electroválvula de corte de combustible o de paro.
5. Variador de avance.

Estos grupos funcionales de la bomba van a servir para estructurar su estudio.

- **Cuerpo de la bomba de transferencia con válvula de regulación de presión:** la parte fundamental de este conjunto, mostrado en la Figura 11.49, es la bomba de transferencia o de alimentación, que suministra una cantidad de combustible constante al interior de la bomba.

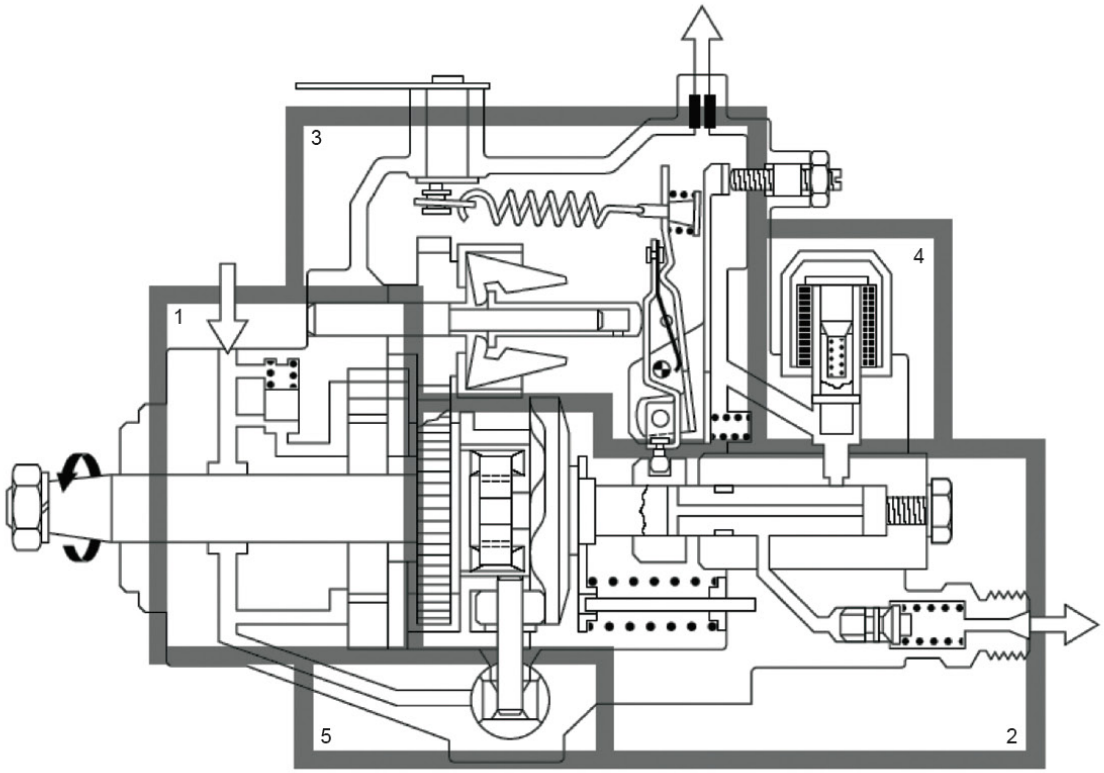
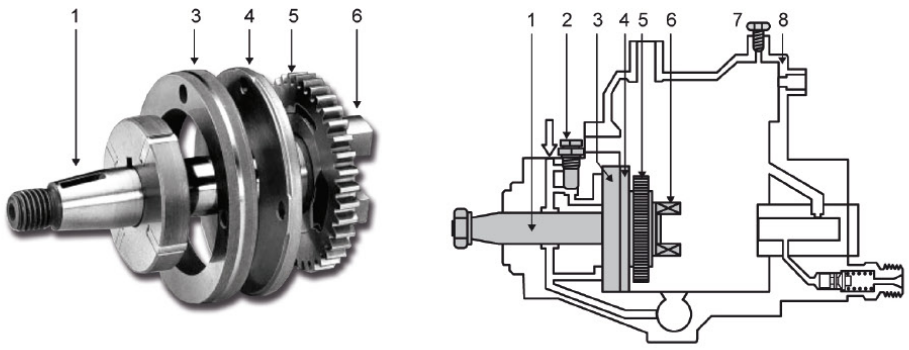


Figura 11.48. *Grupos funcionales de la bomba Bosch VE.*

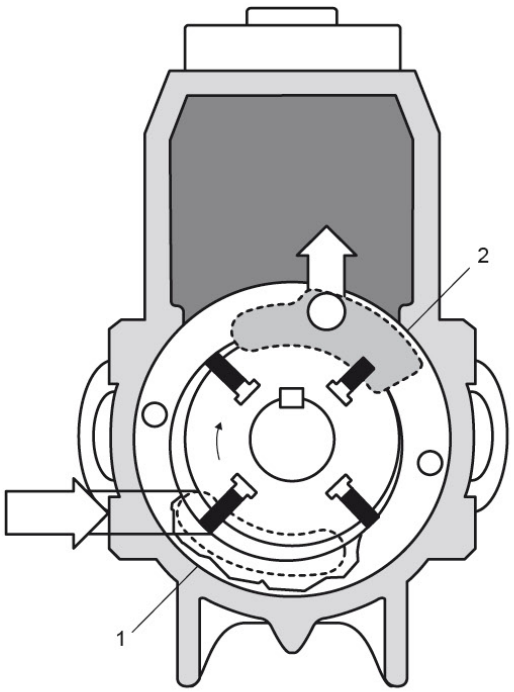


1. Árbol de mando.
2. Válvula de regulación de presión.
3. Anillo excéntrico.
4. Anillo soporte.
5. Rueda dentada de accionamiento del regulador.
6. Acoplamiento de garras.
7. Reductor.
8. Cuerpo de la bomba.

Figura 11.49. *Cuerpo de la bomba de transferencia con válvula de regulación de presión y sus elementos principales.*

© Ediciones Paraninfo

La bomba de transferencia, representada en la Figura 11.50, es de paletas y gira de forma solidaria al árbol de mando de la bomba. A su vez, gira en el interior de un anillo excéntrico, instalado en el cuerpo de la bomba. Cuando gira el árbol de mando, la fuerza centrífuga impulsa a las paletas hacia el exterior, entrando en contacto con la pista interior del anillo excéntrico, haciendo junta con él. Las variaciones de volumen que se producen en los huecos entre paleta y paleta generan una zona de aspiración y otra de impulsión del combustible.



1. Lado de aspiración.
2. Lado de impulsión.

Figura 11.50. *Bomba de transferencia de paletas.*

La válvula de regulación de presión, cuya sección puede verse en la Figura 11.51, se encarga de mantener una presión de alimentación determinada para un régimen de giro dado de la bomba. Esto es así porque a medida que aumenta la velocidad de rotación de la bomba, también lo hace la presión de alimentación. La válvula de regulación se conecta a través de un conducto a la salida o lado de impulsión de la bomba de transferencia. Cuando la presión de alimentación supera un cierto valor, se vence la fuerza del muelle calibrado y se abre un by-pass hacia el lado de aspiración, limitando la presión de combustible.

El paso calibrado reductor, cuya sección está detallada en la Figura 11.52, se encarga de comunicar el interior del cuerpo de la bomba con el retorno de combustible al depósito. De esta forma, se permite una circulación continua de combustible por el cuerpo de la bomba, que favorece la refrigeración y el purgado del aire. Al ser un orificio calibrado de pequeño diámetro, ofrece una restricción al paso del fluido, manteniendo la presión en el interior de la bomba.

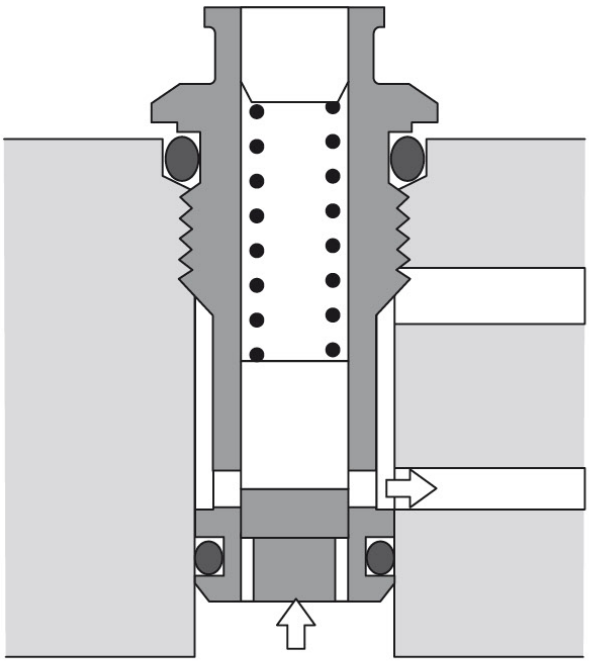


Figura 11.51. *Sección de la válvula de regulación de presión de combustible.*

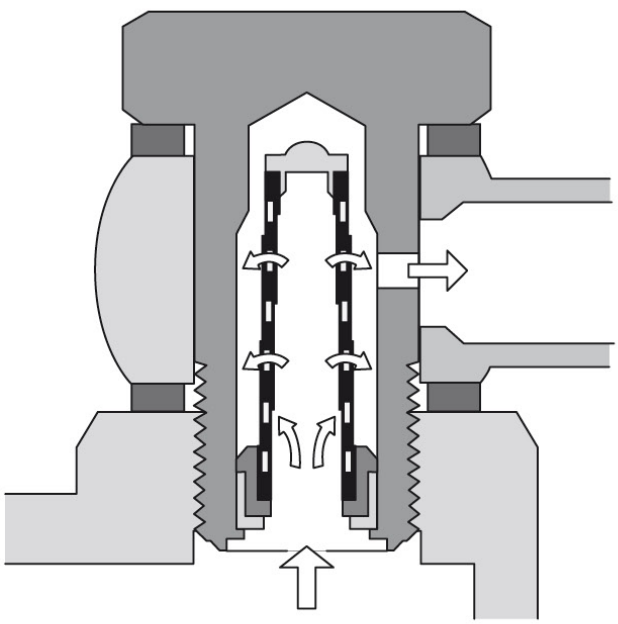


Figura 11.52. *Sección del paso calibrado reductor.*

© Ediciones Paraninfo

- **Cabeza distribuidora y bomba de alta presión:** la alta presión de combustible, necesaria para realizar la inyección, se produce en la bomba de alta presión, representada en la Figura 11.53.

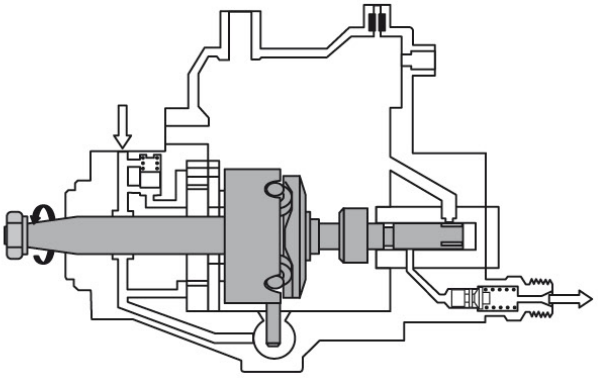
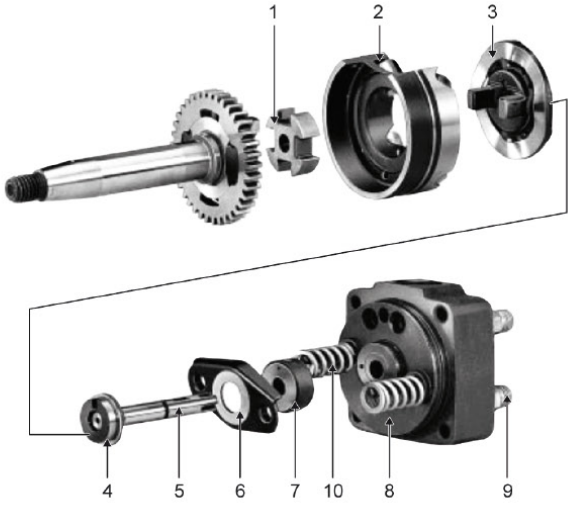


Figura 11.53. *Bomba de alta presión.*

Los elementos principales de la bomba de alta presión pueden verse en la Figura 11.54.



1. Cruceta.
2. Anillo de rodillos.
3. Disco de levas.
4. Pie del émbolo distribuidor.
5. Émbolo distribuidor.
6. Elemento de unión.
7. Collarín de regulación.
8. Cuerpo de la cabeza distribuidora.
9. Válvulas de suministro.
10. Muelles.

Figura 11.54. *Elementos principales de la bomba de alta presión.*

El árbol de mando de la bomba arrastra al disco de levas por medio de la cruceta. El acoplamiento de estos elementos se hace dentro del anillo de rodillos, que permanece fijo con respecto al árbol de mando y al disco de levas. Con esta configuración, el disco de levas, y por tanto, el émbolo distribuidor, van a tener dos movimientos. El primer movimiento es el de rotación, transferido por el árbol de mando. El segundo movimiento es un desplazamiento axial, debido al perfil del disco de levas, que a medida que vaya pasando por los rodillos, se va a mover en esta dirección. Teniendo en cuenta el movimiento axial, el émbolo distribuidor realizará una carrera, en la cual vencerá la fuerza de los muelles y comprimirá el combustible a alta presión, y otra en la que los muelles le obligarán a recobrar su posición inicial preparándose para la siguiente embolada. De esta forma, se puede decir que el movimiento axial es necesario para producir la alta presión y el movimiento rotatorio para distribuir el combustible a cada uno de los inyectores. Si el motor es de cuatro cilindros, por cada 90° de giro del émbolo distribuidor, se suministrará combustible a un cilindro. Para comprender mejor la bomba de alta presión, siguiendo la Figura 11.55, se van a explicar sus fases de funcionamiento:

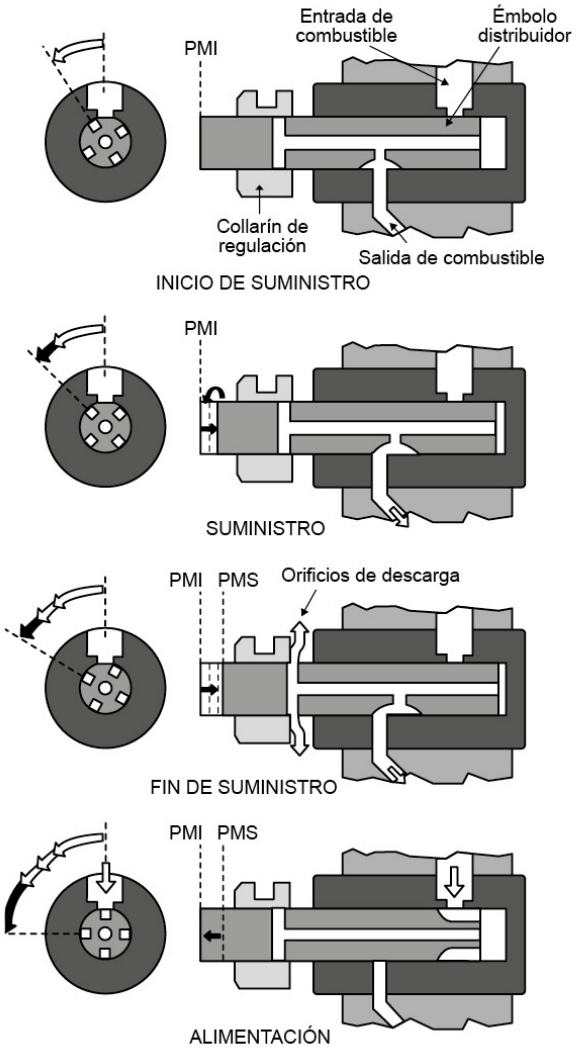


Figura 11.55. *Fases de funcionamiento de la bomba de alta presión.*

© Ediciones Paraninfo

– **Fase de inicio del suministro:** el émbolo parte de su punto muerto inferior (PMI), iniciando la carrera hacia el punto muerto superior (PMS). El combustible se ha introducido en el interior de la bomba por el orificio de entrada. Como el orificio de salida está cerrado y el collarín de regulación obtura el orificio de salida hacia el cuerpo de la bomba, el combustible es comprimido. En la figura, para simplificar, se ha representado solo la salida hacia uno de los cilindros.

– **Fase de suministro:** durante la carrera útil del émbolo, se sigue suministrando combustible a presión hacia los inyectores. La carrera física del émbolo siempre es la misma, pero la carrera útil está en función de la posición del collarín de regulación, que dependerá de la demanda de carga del motor. Cuanto mayor sea la demanda de carga, más tardará el collarín en descubrir el orificio que comunica la cámara de alta presión con el interior de la bomba y, de esta forma, será mayor el caudal inyectado.

– **Fase fin de suministro:** aunque todavía puedan estar enfrentados la lumbrera de salida del émbolo y el conducto de salida hacia el inyector, como el collarín de regulación ha descubierto el orificio de descarga hacia el interior del cuerpo de la bomba, la presión cae de forma brusca y cesa el suministro de combustible.

– **Fase de alimentación:** el émbolo retrocede desde el PMS al PMI, descubriendo el orificio de entrada de combustible, llenando del mismo su interior y preparándose para el siguiente ciclo, repitiéndose el proceso.

La Figura 11.56 resume las fases anteriormente descritas.

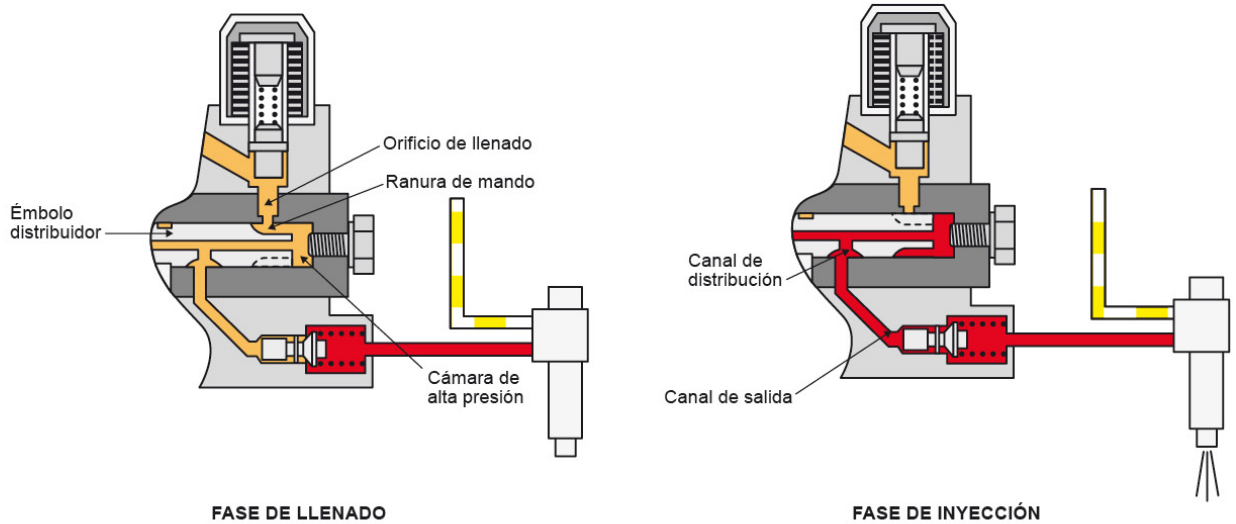
Recuerda que...

Dada la alta precisión de los elementos de la bomba de inyección, en caso necesario, hay que sustituir en conjunto el collarín, el émbolo distribuidor y el cuerpo de la cabeza distribuidora.

El combustible es enviado a presión hacia el inyector a través de la válvula de suministro, representada en la Figura 11.57. Esta válvula tiene la función de evitar el retorno de combustible hacia el interior de la cámara de alta presión cuando cierra el inyector y de asegurar un cierre preciso del inyector al final del tiempo de inyección.

Sabías que...

En los motores de inyección directa que utilizan bomba rotativa de émbolo axial, se suele montar unas válvulas de suministro especiales, llamadas de presión constante, con el fin de evitar el fenómeno de la cavitación y posibles postinyecciones indeseadas.

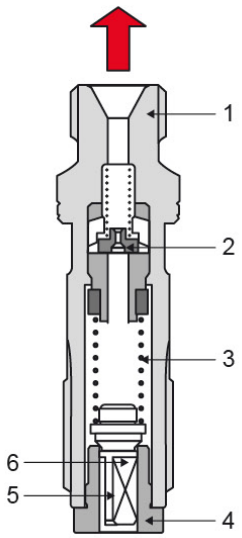


FASE DE LLENADO
Se produce cuando se enfrentan el orificio de llenado y la ranura de mando. El combustible entra en la cámara de alta presión.

FASE DE INYECCIÓN
Se produce cuando el orificio de llenado está tapado, el émbolo comprime el combustible y se enfrentan el canal de distribución con el conducto de salida, dirigiéndose combustible a alta presión hacia el inyector.

Figura 11.56. *Resumen de las fases de funcionamiento de la bomba de alta presión.*

© Ediciones Paraninfo



1. Conjunto de la válvula.
2. Válvula antirretorno.
3. Muelle de la válvula de suministro.
4. Soporte de la válvula de suministro.
5. Válvula de suministro.
6. Rebaje de la válvula de suministro.

Figura 11.57. *Válvula de suministro.*

- **Electroválvula de corte de combustible o de paro:** este dispositivo, mostrado en la Figura 11.58, se encarga de interrumpir la alimentación de combustible a la cámara de alta presión cuando se desea parar el motor.

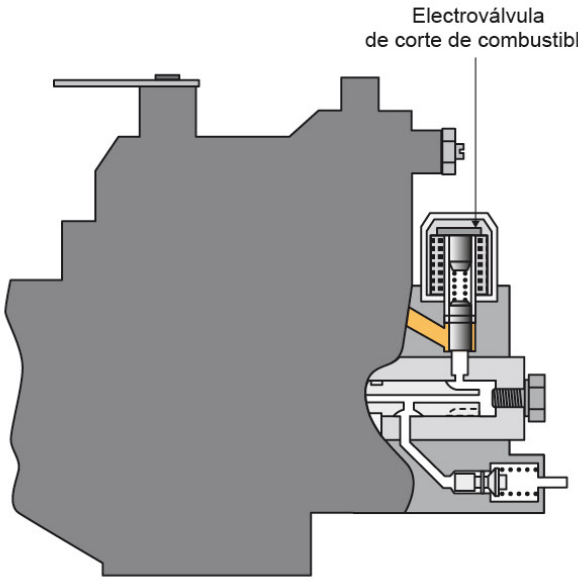


Figura 11.58. *Electroválvula de corte de combustible.*

Cuando se quiere arrancar el motor, la electroválvula es alimentada a través de la llave de contacto y permite el paso de combustible hacia el interior de la bomba de alta presión.

La electroválvula de corte de combustible o de paro también se conoce como dispositivo ELAB.

- **Conjunto del regulador centrífugo:** desde el punto de vista del manejo de un vehículo con motor diésel, es necesaria una rápida respuesta cuando el conductor demanda carga a través del pedal del acelerador, que debe ser suave. Por otro lado, al soltar el pedal del acelerador, el motor ha de ejercer de freno. Por último, estando el motor funcionando en un régimen de carga parcial continuo, el vehículo ha de mantener una velocidad de desplazamiento constante. El conjunto del regulador centrífugo, representado en la Figura 11.59, es el encargado de realizar las funciones anteriormente descritas. Este dispositivo comprende las masas centrífugas y el conjunto de palancas, que determinan la posición del collarín de regulación, estableciendo la carrera útil del émbolo distribuidor.

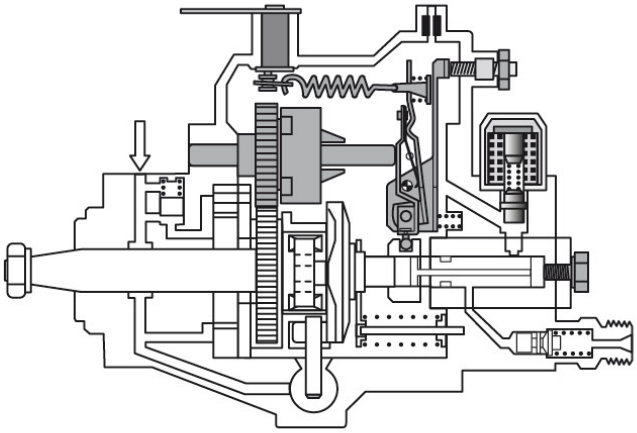
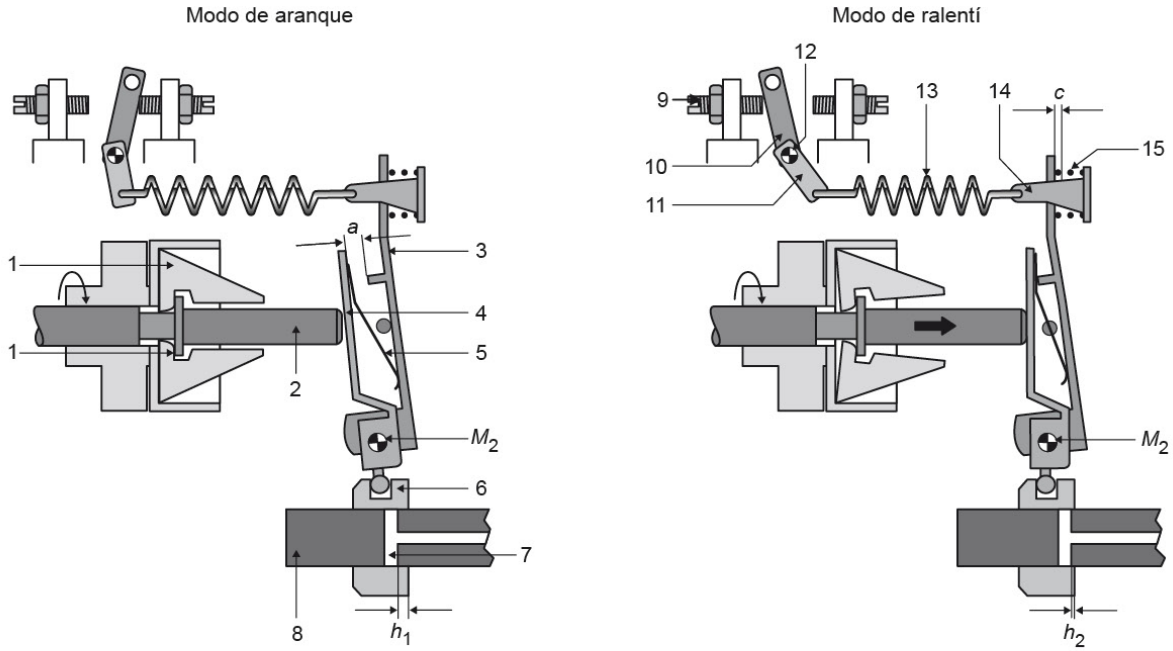


Figura 11.59. *Conjunto del regulador centrífugo.*

Al igual que en el resto de bombas de inyección diésel, se pueden encontrar dos tipos básicos de reguladores, explicados a continuación:

– **Regulador de todas las velocidades:** este regulador controla todas las velocidades del motor entre el arranque y el régimen máximo de giro. Su mayor uso se encuentra entre los vehículos agrícolas y estaciones de bombeo. Los elementos de este sistema pueden observarse en la Figura 11.60. A partir de esta figura y de la 11.61 se va a explicar su funcionamiento, que se resume en cuatro modos:

© Ediciones Paraninfo



1. Masas centrífugas.
2. Manguito regulador.
3. Palanca tensora.
4. Palanca de arranque.
5. Resorte de arranque.
6. Collarín de regulación.
7. Lumbrera de descarga del émbolo distribuidor.
8. Émbolo distribuidor.
9. Tornillo de ajuste de velocidad de ralentí.
10. Palanca del acelerador.
11. Palanca de control.
12. Eje de la palanca de control.
13. Muelle del regulador.
14. Perno de fijación.
15. Muelle de ralentí.

a. Recorrido del resorte de arranque.
c. Recorrido del muelle de ralentí.
h_1. Carrera máxima de trabajo en arranque.
h_2. Carrera máxima de trabajo al ralentí.
M_2. Eje de giro de los elementos 3 y 4.

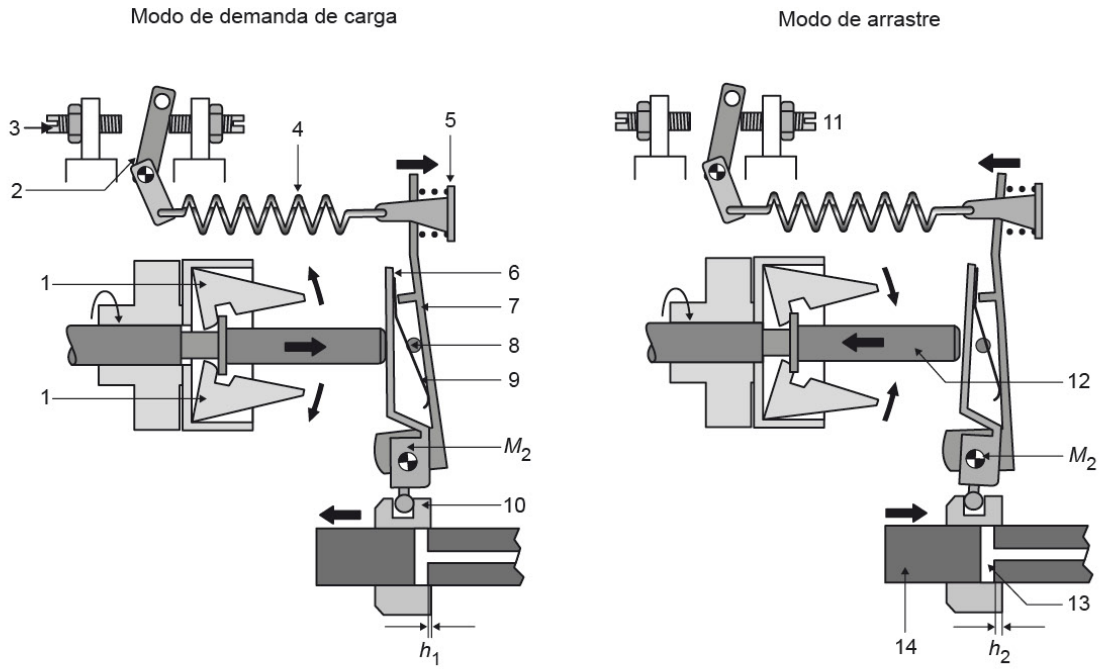
Figura 11.60. *Elementos del regulador de todas las velocidades y funcionamiento en el modo de arranque y de ralentí.*

» *Arranque:* en el modo de arranque, las masas centrífugas y el manguito de regulación permanecen en su posición de reposo. La palanca de arranque es empujada hacia la posición de arranque gracias a la acción de su resorte, pivotando sobre su eje de giro. Al mismo tiempo, el collarín de regulación» es situado en una posición que suministra el caudal de arranque, por medio de la rótula de la palanca de arranque. Esto hace que al arrancar el motor, el émbolo distribuidor realice una carrera útil máxima, aportando el máximo caudal en esta fase.

Aunque el ajuste entre el collarín de regulación y el émbolo distribuidor es muy preciso, siempre se produce una pequeña fuga de combustible, necesaria para lubricar el contacto entre ambos elementos.

» *Ralentí:* una vez arrancado el motor y con el pedal del acelerador suelto, la palanca del acelerador es situada en la posición de ralentí, haciendo tope con su tornillo de ajuste. En el momento que la bomba alcanza unas pocas revoluciones por minuto, las masas centrífugas desplazan el manguito regulador y vencen la fuerza del resorte de arranque. Cuando se alcanza la velocidad de ralentí, esta es estable por el equilibrio de fuerzas entre el manguito empujado por las masas centrífugas y el muelle de ralentí. Cuando el régimen de giro es superior al de ralentí, el recorrido del muelle de ralentí llega a su máximo y deja de actuar. Utilizando un muelle especial de ralentí en el alojamiento del regulador, se puede ajustar la velocidad de ralentí independientemente de la posición del acelerador y ser aumentado o disminuido en función de, por ejemplo, la temperatura del motor.

© Ediciones Paraninfo



1. Masas centrífugas.
2. Palanca del acelerador.
3. Tornillo de ajuste de la velocidad de ralentí.
4. Muelle del regulador.
5. Muelle de ralentí.
6. Palanca de arranque.
7. Palanca tensora.
8. Tope de la palanca tensora.
9. Resorte de arranque.
10. Collarín de regulación.
11. Tornillo de ajuste de plena carga.
12. Manguito regulador.
13. Lumbrera de descarga del émbolo distribuidor.
14. Émbolo distribuidor.

h_1. Carrera máxima de trabajo al ralentí.

h_2. Carrera máxima de trabajo a plena carga.

M_2. Eje de giro de los elementos 6 y 7.

Figura 11.61. *Funcionamiento del regulador de todas las velocidades en el modo de demanda de carga y arrastre.*

» *Demanda de carga:* en función del régimen de giro del motor deseado, la palanca del acelerador se posiciona en un punto dentro de su margen de actuación, determinado por el conductor a través del pedal del acelerador. A velocidades del motor superiores a la de ralentí, los resortes de arranque y de ralentí están totalmente comprimidos y ya no tienen efecto sobre el regulador. Ahora actúa el muelle del regulador. Cuando el conductor demanda un cierto nivel de carga, el muelle del regulador es tensionado con una fuerza superior a la que ejercen las masas centrífugas sobre el manguito regulador, pivotando la palanca tensora alrededor de su eje y desplazando esta el collarín de regulación a un determinado punto, en el sentido de plena carga y, por tanto, de máximo caudal. Como consecuencia de esto, el motor se acelera y las masas centrífugas empiezan a empujar el manguito regulador contra la palanca tensora. A partir de un determinado régimen de giro, la fuerza que prevalece es la del manguito regulador causada por las masas centrífugas, desplazando el collarín de regulación en el sentido de caudal mínimo. Esta regulación tiene lugar de forma continua mientras la posición del acelerador se encuentre entre ralentí y plena carga.

» *Arrastre:* esta situación puede darse, por ejemplo, bajando una pendiente, siendo el motor arrastrado por el movimiento del vehículo. Esto provoca que las masas centrífugas empujen el manguito regulador contra las palancas de arranque y tensora. Estas palancas hacen que el collarín de regulación se mueva a la posición de mínimo caudal.

– **Regulador de mínimo y máximo:** este tipo de regulador solo controla la velocidad mínima de ralentí y la máxima. En velocidades intermedias la regulación se efectúa por medio del pedal acelerador. La Figura 11.62

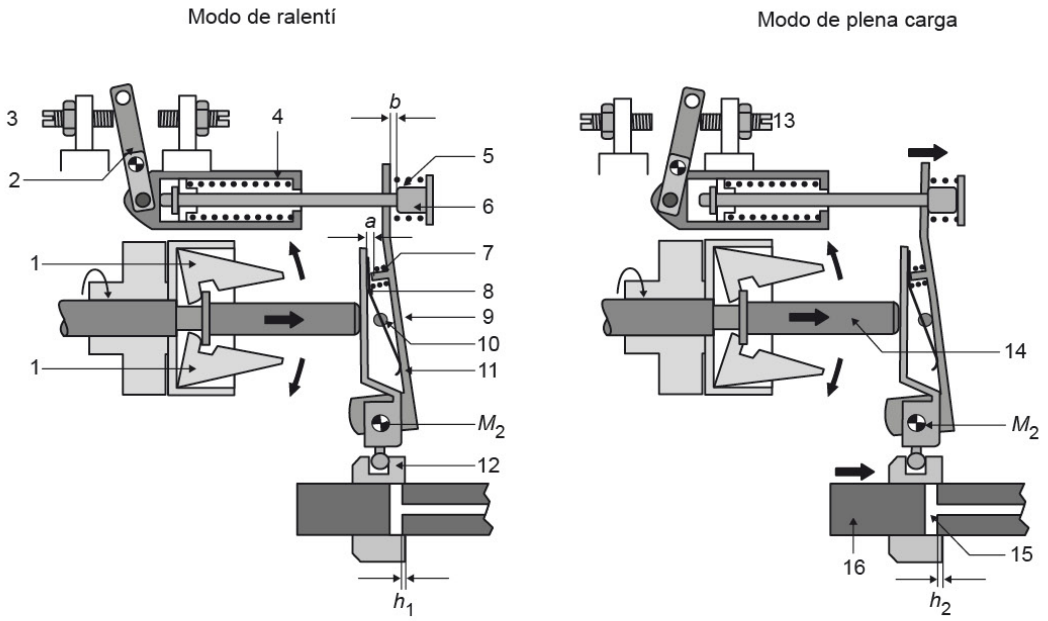
© Ediciones Paraninfo

representa los elementos del regulador de mínimo y máximo y su funcionamiento en el modo de ralentí y de plena carga. La estructura es básicamente la misma que en el caso del regulador de todas las velocidades. La diferencia fundamental es el muelle del regulador y su montaje, que ahora es de compresión y se instala en el interior de un elemento guía. El muelle del regulador y la palanca tensora se unen a través de un perno de fijación. Se distinguen tres modos básicos de funcionamiento:

» *Arranque:* en esta fase, las masas centrífugas no se mueven y el manguito regulador se mantiene en su posición de reposo. Esto hace que el resorte de arranque empuje al manguito regulador de forma que mantenga las masas centrífugas contraídas. El collarín de regulación adopta la posición de caudal de arranque.

» *Ralentí:* una vez que el motor ha arrancado y se ha soltado el pedal del acelerador, el muelle de ralentí posiciona la palanca de mando para mantener este régimen. La fuerza de las masas centrífugas aumenta conforme lo hace la velocidad del motor, y estas empujan al manguito regulador contra la palanca de arranque. El muelle de ralentí de la palanca tensora controla, pues, el régimen de ralentí. El collarín de regulación se desplaza hacia una posición de poco caudal, manteniéndose en ese punto por el equilibrio de las fuerzas de las masas centrífugas y la del muelle.

» *Demanda de carga:* al pisar el pedal del acelerador, la palanca del mismo se sitúa con un ángulo determinado. En estas circunstancias, el resorte de arranque y el muelle de ralentí dejan de actuar, entrando en acción el muelle intermedio. Este muelle favorece



1. Masas centrífugas.
2. Palanca del acelerador.
3. Tornillo de ajuste de la velocidad de ralentí.
4. Muelle del regulador.
5. Muelle intermedio.
6. Perno de fijación.
7. Muelle de ralentí.
8. Palanca de arranque.
9. Palanca tensora.
10. Tope de la palanca tensora.
11. Resorte de arranque.
12. Collarín de regulación.
13. Tornillo de ajuste de plena carga.
14. Manguito regulador.
15. Lumbrera de descarga del émbolo distribuidor.
16. Émbolo distribuidor.

a. Recorrido del resorte de arranque y ralentí.
b. Recorrido del muelle intermedio.
h_1. Carrera máxima de trabajo en ralentí.
h_2. Carrera máxima de trabajo a plena carga.
M_2. Eje de giro de los elementos 8 y 9.

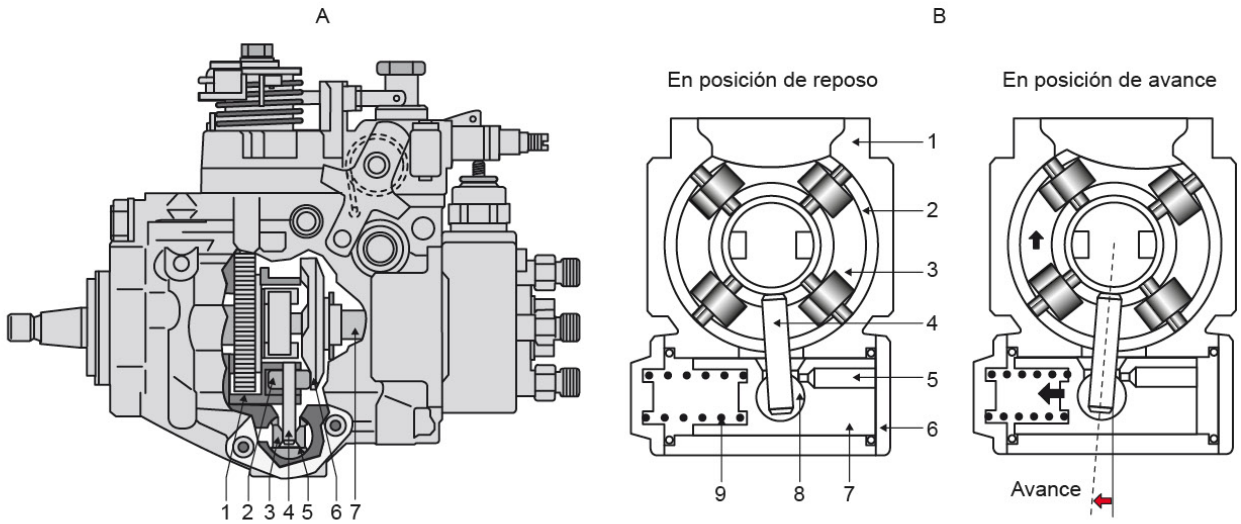
Figura 11.62. *Elementos del regulador de mínimo y máximo y funcionamiento en el modo de ralentí y de plena carga.*

© Ediciones Paraninfo

una transición suave al rango no regulado. Cuando se demanda carga, el muelle intermedio es presionado contra la palanca tensora por el perno de fijación. Cuando se ha comprimido, deja de actuar y empieza el modo no regulado, que depende de la precarga del muelle del regulador, pudiéndose considerar este como un elemento rígido. De esta forma, la posición del pedal del acelerador influye directamente sobre el mecanismo de palancas del regulador, estando controlado el caudal de combustible inyectado por la posición del pedal del acelerador. Una vez que se va alcanzando el régimen de giro objetivo, disminuye la carga del motor para una misma posición del acelerador. En este momento, las masas centrífugas empujan al manguito regulador contra las palancas de arranque y tensora. La palanca tensora arrastra pues, gracias al perno de fijación y a la varilla, al muelle del regulador, comprimiéndolo y desplazando al collarín de regulación hacia una posición de menor caudal.

El funcionamiento del regulador de mínimo y máximo hace que el conductor perciba el manejo del motor diésel como si fuera uno de gasolina, dada su rápida respuesta al accionar el pedal del acelerador. Por este motivo, este tipo de regulador es el más utilizado en vehículos de turismo, aunque se suele montar una combinación de regulador de todas las velocidades y de mínimo y máximo.

- **Variador de avance:** este dispositivo se encarga de compensar el retraso en el inicio de la combustión a medida que aumenta el régimen de giro del motor, avanzando la inyección. El variador de avance de control hidráulico está ubicado en la parte inferior de la bomba, perpendicularmente a su eje, y está formado por los elementos mostrados en la Figura 11.63 (A). El émbolo desplazable del variador es guiado por el cuerpo de la bomba, que se cierra por ambos lados a través de dos tapas. En el émbolo hay un conducto que permite la entrada de combustible y en el lado opuesto se encuentra un muelle de compresión. El émbolo está eslabonado al anillo de rodillos a través de un bloque deslizante y un perno. Su funcionamiento se explica por medio de la Figura 11.63 (B). La posición de reposo del variador se consigue con la fuerza de su muelle. Cuando la bomba está en funcionamiento, la presión del combustible en su interior se regula en función del régimen de giro, por medio del regulador de presión y del paso calibrado reductor. Esta presión de combustible se aplica por el lado del émbolo opuesto al de su muelle. A partir de un determinado régimen de giro, la fuerza debida a la presión de combustible del interior de la bomba, vence la fuerza del muelle y desplaza el émbolo. Este desplazamiento del émbolo se convierte en un giro del anillo de rodillos a través del bloque deslizante y del perno. De esta forma, el disco de levas y el émbolo distribuidor se desfasan



1. Anillo de rodillos.
2. Rodillos.
3. Bloque deslizante.
4. Perno.
5. Émbolo desplazable.
6. Disco de levas.
7. Émbolo distribuidor.

1. Cuerpo de la bomba.
2. Anillo de rodillos.
3. Rodillos.
4. Perno.
5. Conducto del émbolo desplazable.
6. Tapa.
7. Émbolo desplazable.
8. Bloque deslizante.
9. Muelle del variador.

Figura 11.63. *Ubicación del variador de avance con sus elementos principales (A) y funcionamiento del mismo a través de su posición de reposo y de avance (B).*

© Ediciones Paraninfo

un determinado ángulo, con lo que el inicio del suministro queda adelantado, consiguiendo un cierto avance de la inyección.

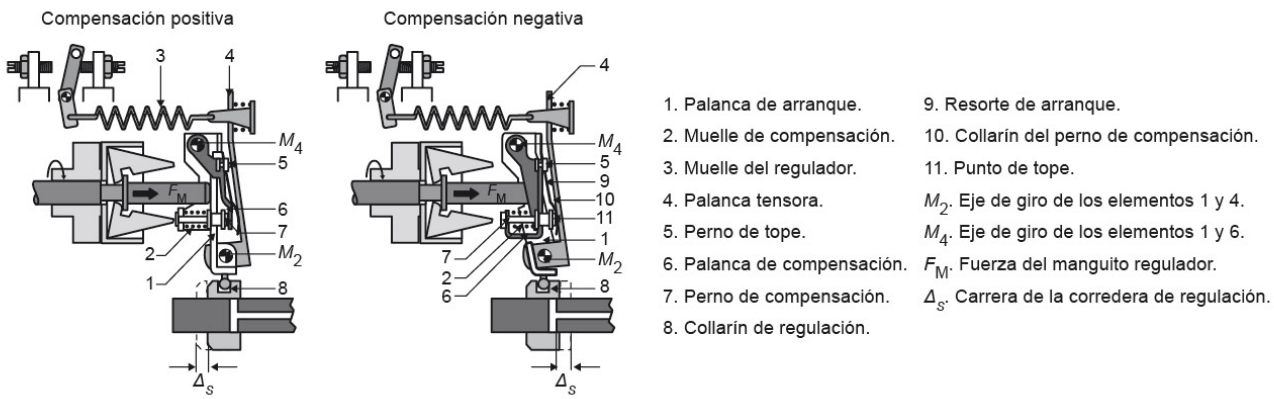
- **Dispositivos de adaptación:** este tipo de bombas están diseñadas de forma modular, para que se puedan añadir diferentes dispositivos que adapten el funcionamiento de la bomba a un mayor número de condiciones operativas del motor. Los dispositivos de adaptación más importantes son los siguientes:

  – **Mecanismos de asimilación o compensación:** la asimilación o compensación es la adaptación del caudal suministrado a la curva de consumo característica del motor en función del régimen de giro. Esto es necesario en condiciones de plena carga, para reducir las emisiones contaminantes, optimizar el par motor y disminuir el consumo. El caudal de combustible demandado por el motor disminuye según aumenta su velocidad de giro, para una determinada posición del pedal del acelerador. Existen dos tipos de compensación:

    » *Compensación positiva:* este tipo de compensación a plena carga es necesaria para bombas que tienden a suministrar más combustible del necesario a alto régimen. Esto se debe a que la bomba de alimentación tiende a introducir más cantidad de combustible en la cámara de alta presión a altas revoluciones, por el estrangulamiento producido en el paso calibrado reductor de retorno. Con este sistema, a medida que aumenta el régimen de giro, disminuye el caudal suministrado a los inyectores, ya que el motor no sería capaz de quemar todo el combustible aportado, incrementándose la emisión de humos. La compensación positiva puede realizarse a través de unas válvulas de suministro especiales que incorporan un elemento que sirve de estrangulador para reducir el caudal a medida que aumenta el régimen de giro. Cuando la asimilación positiva no la pueden absorber las válvulas de suministro o cuando además es necesaria una compensación negativa, se utiliza un mecanismo de palancas mejorado, como el que muestra la Figura 11.64.

    El inicio de la compensación depende del tarado del muelle de compensación, que entrará en funcionamiento a partir de un determinado régimen. Cuando se llega a dicho régimen, la fuerza del muelle de compensación y la del manguito regulador están equilibradas. La palanca de compensación se apoya sobre el perno de tope de la palanca tensora. El extremo libre de la palanca de compensación entra en contacto con el perno de compensación. En estas circunstancias, al aumentar el régimen de giro, también aumentará la fuerza del manguito regulador, que empuja la palanca de arranque. El eje de giro común de la palanca de arranque y de compensación se desplaza. Al mismo tiempo, la palanca de compensación gira alrededor del perno de tope y empuja el de compensación hacia el tope. Ahora, la palanca de arranque gira alrededor del eje que tiene en común con la palanca de compensación, desplazando el collarín de regulación hacia una posición de menor caudal. En el momento en el que el collarín del perno de compensación apoya sobre la palanca de arranque, termina la compensación positiva.

    » *Compensación negativa:* la compensación negativa de plena carga es necesaria para motores que generan una gran emisión de humos a pocas revoluciones, que requieren un aumento del par motor o en los que son sobrealimentados. Esta compensación puede hacerse con el mecanismo de palancas del regulador mejorado de la Figura 11.64. Una vez comprimido el resorte de arranque, la palanca



1. Palanca de arranque.
2. Muelle de compensación.
3. Muelle del regulador.
4. Palanca tensora.
5. Perno de tope.
6. Palanca de compensación.
7. Perno de compensación.
8. Collarín de regulación.
9. Resorte de arranque.
10. Collarín del perno de compensación.
11. Punto de tope.

M_2. Eje de giro de los elementos 1 y 4.
M_4. Eje de giro de los elementos 1 y 6.
F_M. Fuerza del manguito regulador.
Δ_s. Carrera de la corredera de regulación.

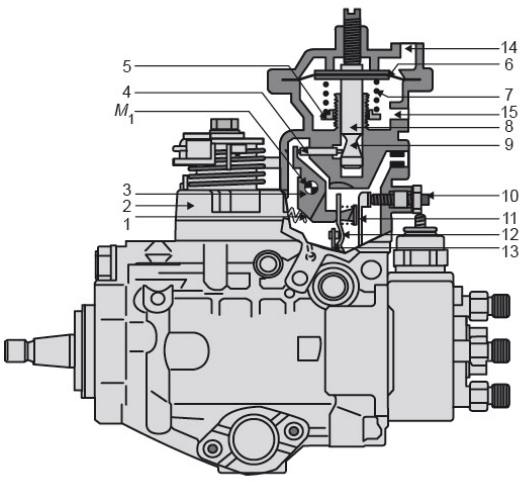
Figura 11.64. *Mecanismo de palancas del regulador mejorado para realizar una compensación positiva y negativa.*

© Ediciones Paraninfo

de compensación se apoya sobre la palanca tensora, gracias al perno de tope. En estas circunstancias, el perno de compensación también se apoya en la palanca tensora. Si el régimen de giro aumenta, la fuerza ejercida por el manguito regulador también lo hace y la palanca de compensación comprime su muelle. Si la fuerza del manguito regulador supera a la del muelle de compensación, la palanca de compensación se mueve en dirección al collarín del perno, cambiando la posición del eje de giro común de las palancas de arranque y de compensación. Al mismo tiempo, la palanca de arranque gira alrededor de su eje y desplaza la corredera de regulación hacia una posición de mayor caudal. En el momento en el que la palanca de compensación se apoya sobre el collarín del perno, termina la compensación negativa.

– **Compensador de la presión de carga (LDA):** este dispositivo se encarga de adaptar el caudal de alimentación a plena carga a la presión del colector de admisión en motores sobrealimentados. De esta forma, se varía el tope de plena carga, y por tanto el combustible inyectado, en función de la presión de sobrealimentación. Por otro lado, si se reduce la presión de soplado, la cantidad de combustible inyectado ha de adaptarse a una menor masa de aire introducida en el cilindro. La ubicación y elementos principales del dispositivo LDA están representados en la Figura 11.65.

El dispositivo LDA se monta sobre la bomba de inyección. En su parte superior se encuentra la conexión con el colector de admisión y el orificio de ventilación. Su interior se divide en dos cámaras por medio de una membrana, que cuando es afectada por la presión de sobrealimentación vence la fuerza del muelle. El muelle es soportado y a la vez calibrado por la tuerca de regulación, que le asigna una cierta precarga. Esto hace que el dispositivo intervenga dada una cierta presión de sobrealimentación. Unido a la membrana se encuentra el perno de control, que tiene labrada una parte con sección cónica, constituyendo el cono de control. El perfil del cono de control es seguido por el perno guía, moviendo la palanca de tope, que en su giro modifica el tope de plena carga. La posición inicial de la membrana y del perno de control se regula con el tornillo de ajuste situado en la cabeza del dispositivo LDA. Cuando el motor gira a bajas revoluciones, la presión de soplado es insuficiente para vencer la fuerza del muelle, permaneciendo la membrana en su posición de reposo. Conforme aumenta la presión de sobrealimentación, llega un punto en que se vence la fuerza del muelle y el perno de control desciende. En estas circunstancias, el perno guía sigue el perfil del cono de control, haciendo girar a la palanca de tope alrededor de su eje. Debido a la fuerza ejercida por el muelle del regulador, se hacen solidarios la palanca tensora, la palanca de tope, el perno guía y el perno de control. De esta forma, la palanca tensora sigue el movimiento de giro de la palanca de tope, haciendo que las palancas de arranque y de sujeción describan un movimiento de giro alrededor de su eje común, desplazando el collarín de regulación en el sentido de mayor caudal. Así, el caudal de combustible se adapta al incremento de la masa de aire introducida en el cilindro. En el caso de disminuir la presión de sobrealimentación, el muelle de compresión situado bajo la membrana empuja el perno de control hacia arriba, actuando de forma inversa y reduciendo la cantidad de combustible inyectado, al desplazar el collarín de regulación en el sentido de menor caudal.



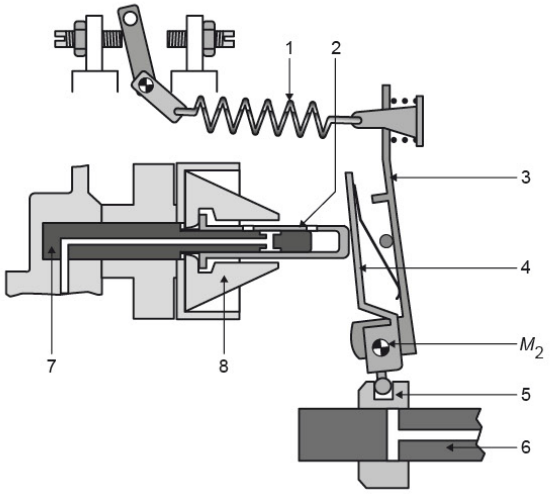
1. Muelle de regulación.
2. Tapa del regulador.
3. Palanca de tope.
4. Perno guía.
5. Tuerca de ajuste.
6. Membrana.
7. Muelle de compresión.
8. Perno de control.
9. Cono de control.
10. Tornillo de ajuste de plena carga.
11. Palanca de ajuste.
12. Palanca tensora.
13. Palanca de arranque.
14. Conexión con el colector de admisión.
15. Orificio de ventilación.
M_1. Eje de giro del elemento 3.

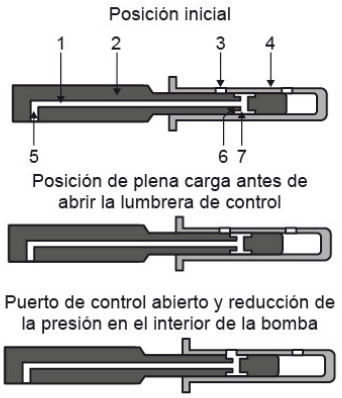
Figura 11.65. *Ubicación y elementos principales del dispositivo LDA.*

© Ediciones Paraninfo

Si se averiara el turbocompresor, el dispositivo LDA retrocede a su posición inicial y limita el caudal a plena carga, asegurando la limitación de las emisiones de humos.

– **Avance de inyección en función de la carga (LFB):** el dispositivo LFB está concebido para que en caso de reducir la carga, por ejemplo de plena carga a carga parcial, para una misma posición del pedal del acelerador, se retrase el inicio del suministro de combustible. Por el contrario, si la carga aumenta, la inyección es avanzada. Con esto se consigue un funcionamiento más suave del motor. Los elementos de este dispositivo, así como su funcionamiento, se explican a través de la Figura 11.66. Para conseguir un avance de inyección dependiente de la carga, se hace una modificación en el eje del regulador, en el manguito regulador y en el cuerpo de la bomba. El manguito incorpora una lumbrera adicional y el eje del regulador una ranura anular, un taladro longitudinal y dos conductos transversales. Al cuerpo de la bomba se le practica un taladro de forma que haya una conexión desde el interior de la bomba hasta el lado de aspiración de la bomba de transferencia. Cuando el motor aumenta el régimen de giro, también lo hace la presión de la bomba de transferencia, por lo que el dispositivo de avance adelanta la inyección. Mediante la reducción de la presión en el interior de la bomba, llevada a cabo por el dispositivo LFB, se puede conseguir un retraso de la inyección. El control se realiza por medio de los taladros del eje del regulador y del manguito regulador. Mediante la palanca del acelerador se asigna un régimen de giro determinado. Para alcanzar ese régimen objetivo, este tiene que ir aumentando hasta conseguirlo, desplazándose poco a poco el manguito regulador por la acción de las masas centrífugas. Como en el caso de la regulación normal, se va reduciendo el caudal de combustible aportado, pero ahora, además, se regula la lumbrera de control del manguito regulador por medio del borde de control del eje del regulador. El resultado de esto es que una parte del combustible fluye hacia el lado de aspiración de la bomba de transferencia a través del taladro longitudinal y de los conductos transversales del eje, causando una reducción de la presión en el interior de la bomba. Consecuentemente, el variador de avance se sitúa en una posición de retardo. Si la posición de la palanca del acelerador permanece inalterable y la carga vuelve a aumentar, el régimen de giro disminuye y los contrapesos se contraen, haciendo que el manguito regulador cierre la lumbrera de control. En este caso, la presión en el interior del cuerpo





1. Muelle del regulador.
2. Manguito regulador.
3. Palanca tensora.
4. Palanca de arranque.
5. Collarín de regulación.
6. Émbolo distribuidor.
7. Eje del regulador.
8. Masas centrífugas.

M_2. Eje de giro de los elementos 3 y 4.

1. Taladro longitudinal en el eje del regulador.
2. Eje del regulador.
3. Lumbrera de control del manguito del regulador.
4. Manguito regulador.
5. Conducto transversal del eje del regulador.
6. Borde de control del eje del regulador.
7. Conducto transversal del eje del regulador.

Figura 11.66. *Dispositivo de avance de inyección en función de la carga (LFB).*

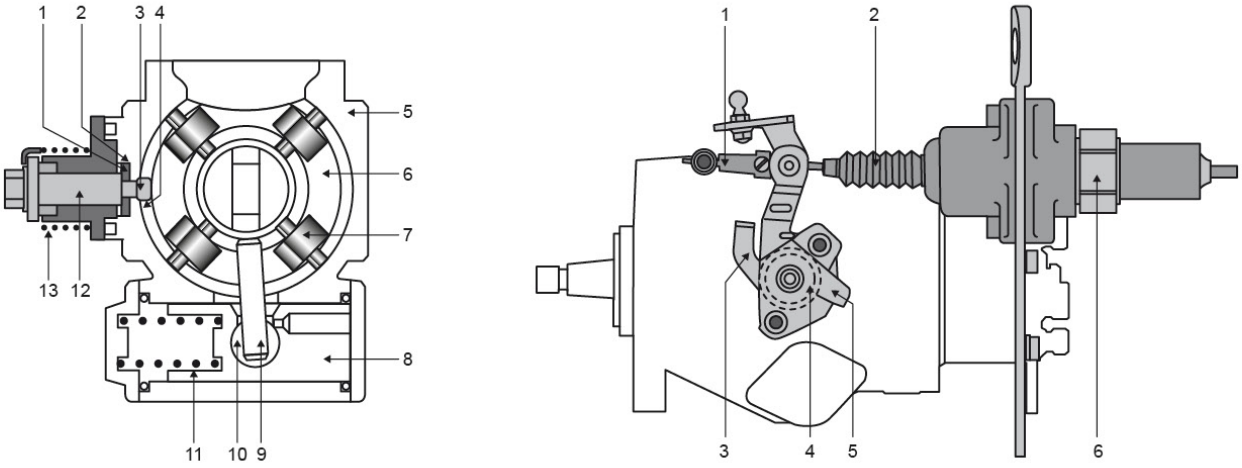
© Ediciones Paraninfo

de la bomba vuelve a aumentar ya que no fluye combustible hacia el lado de aspiración de la bomba de transferencia. En este momento, el variador se sitúa en una posición de avance.

– **Compensador de altitud (ADA):** a medida que aumenta la altitud, la densidad del aire disminuye y, por tanto, también lo hace la masa de aire aspirada por el motor. Si se mantiene el caudal inyectado a plena carga, este no puede ser quemado por completo, incrementándose las emisiones de humos y la temperatura del motor. Para evitar esto, se instala un tope de plena carga dependiente de la presión atmosférica. Este dispositivo se instala en la tapa del regulador y está formado por una cápsula barométrica cuya actuación queda calibrada por la fuerza de un muelle de compresión. La presión atmosférica es aplicada en la parte superior de la membrana de la cápsula. La presión de referencia, que se mantiene constante, se aplica en la parte inferior. Si disminuye la presión atmosférica, por ejemplo, al subir una montaña, el perno de control se desplaza verticalmente alejándose de su tope inferior, venciendo la fuerza del muelle y, de la misma forma que en el dispositivo LDA, la palanca de tope hace que se reduzca el caudal de combustible inyectado.

La configuración del dispositivo ADA es similar a la del dispositivo LDA. La única diferencia es que el ADA está equipado con una cápsula barométrica que está conectada al sistema de vacío, como por ejemplo, al depresor del freno. La cápsula barométrica ofrece una presión absoluta de referencia constante de unos 700 mbar.

– **Compensador de arranque en frío:** el arranque en frío se puede mejorar instalando un compensador que avanza la inyección durante esta fase. Esta operación puede ser llevada a cabo mediante un cable bowden accionado por el conductor desde el cuadro de instrumentos o automáticamente con un dispositivo sensible a la temperatura. El dispositivo principal es el de arranque en frío mecánico en el anillo de rodillos (KSB). Su estructura y funcionamiento se explica por medio de la Figura 11.67. El dispositivo KSB se acopla al cuerpo de la bomba, uniendo su palanca de tope a la palanca interior por medio de un árbol. En la palanca interior se dispone de forma excéntrica una rótula que actúa sobre el anillo de rodillos. En otras versiones se actúa sobre el émbolo del variador. La posición inicial de la palanca de tope está definida por el tope y por el muelle de torsión. En la parte superior de la palanca de tope se fija el cable que conecta el dispositivo de



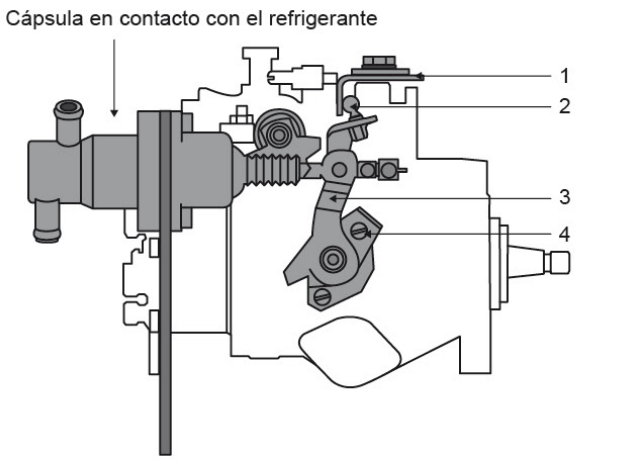
1. Palanca.
2. Ventana de acceso.
3. Rótula.
4. Ranura longitudinal.
5. Cuerpo de la bomba.
6. Anillo de rodillos.
7. Rodillo.
8. Émbolo del variador.
9. Perno.
10. Bloque deslizante.
11. Muelle del variador.
12. Eje.
13. Muelle de torsión.

1. Presilla.
2. Cable.
3. Palanca de tope.
4. Muelle de torsión.
5. Palanca de control.
6. Dispositivo de control sensible a la temperatura.

Figura 11.67. *Estructura del dispositivo KSB.*

© Ediciones Paraninfo

control manual o automático. El mecanismo de accionamiento manual se instala en el interior del vehículo y el de control automático en la bomba de inyección por medio de un soporte. Los dispositivos manuales y mecánicos se diferencian en el sistema de corrección externo, pero funcionan de la misma forma. La fuerza aplicada sobre el cable bowden provoca el giro de la palanca de tope, el eje, la palanca interior y la rótula, cambiando la posición del anillo de rodillos en sentido de avance. La rótula se eslabona al anillo de rodillos por medio de una ranura longitudinal, para que el émbolo del variador pueda seguir desplazando el anillo de rodillos en sentido de avance a partir de un determinado régimen. La corrección automática se lleva a cabo mediante un dispositivo de control dilatable en función de la temperatura, de forma que transforma las diferencias de la misma en el refrigerante en un movimiento longitudinal. Esto tiene la ventaja de poder adaptar el momento de inyección de una forma precisa en las fases de arranque en frío, calentamiento y arranque en caliente.



1. Palanca de control de la velocidad de ralentí.
2. Rótula.
3. Palanca de avance del dispositivo KSB.
4. Palanca de tope

Figura 11.68. *Dispositivo KSB con control del régimen de ralentí en función de la temperatura (TLA).*

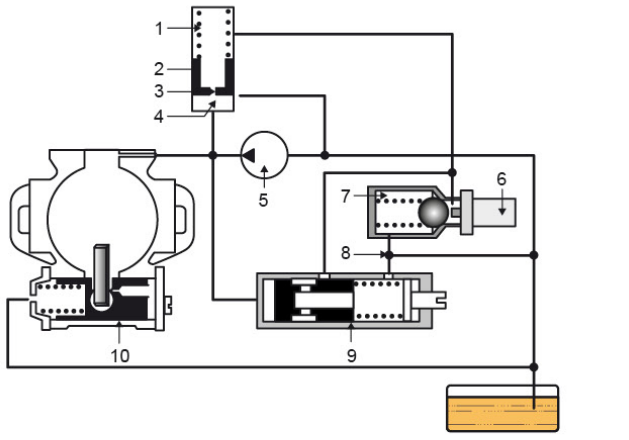
Sabías que...

Existe un dispositivo que adapta el caudal de combustible en el arranque en frío en función de la temperatura (TAS), que se puede combinar con el sistema KSB.

Aunque existen diferentes dispositivos de accionamiento y configuración de palancas, los principales son:

» *Control del régimen de ralentí en función de la temperatura (TLA):* este dispositivo se muestra esquemáticamente en la Figura 11.68. Funciona en combinación con el KSB. Cuando el motor está frío, la rótula situada en la prolongación de la palanca de avance del dispositivo KSB es empujada contra la palanca mando, alejándola del tornillo de tope de ralentí. De esta forma se tiene un ralentí acelerado que evita el funcionamiento irregular en frío. Cuando el motor se calienta, la palanca de avance del KSB descansa sobre su tope y la de mando sobre el tornillo de ajuste de ralentí, disminuyendo dicho régimen.

» *Compensador de arranque en frío hidráulico:* este dispositivo permite un avance en un rango más amplio y de forma más precisa. Como es sabido, el avance es controlado con la presión interior de la bomba, aplicada al émbolo del variador. Este mecanismo modifica dicha presión. El esquema de este sistema se muestra en la Figura 11.69. Consta de una válvula de control de presión, una válvula de bola del KSB, una válvula de control del KSB y un elemento dilatable con la temperatura eléctricamente calefactado. La bomba de transferencia aspira el combustible del depósito y lo lleva al interior de la bomba rotativa. Después, el combustible está



1. Válvula de control de presión.
2. Émbolo de la válvula.
3. Orificio de estrangulación.
4. Presión interna.
5. Bomba de transferencia.
6. Elemento dilatable calefactado.
7. Válvula de bola del KSB.
8. Retorno de combustible sin presión.
9. Válvula de control del KSB con ajuste.
10. Variador de avance.

Figura 11.69. *Esquema del dispositivo KSB con compensador de arranque en frío hidráulico.*

© Ediciones Paraninfo

sometido a la presión interior y llega a uno de los lados del émbolo del variador de avance, siendo este el sistema convencional de corrección del avance. Para hacer la corrección en frío, el émbolo de la válvula de control de presión lleva un orificio de estrangulación que consigue aumentar la presión en el interior de la bomba mientras la válvula de bola esté cerrada. Cuando el motor está en funcionamiento, la válvula de bola se abre gracias al elemento dilatable con la temperatura eléctricamente calefactado, de forma que el combustible puede circular sin presión. Una vez finalizado este transitorio, la presión en el interior de la bomba desciende y empieza a ser controlada por la válvula de control de presión.

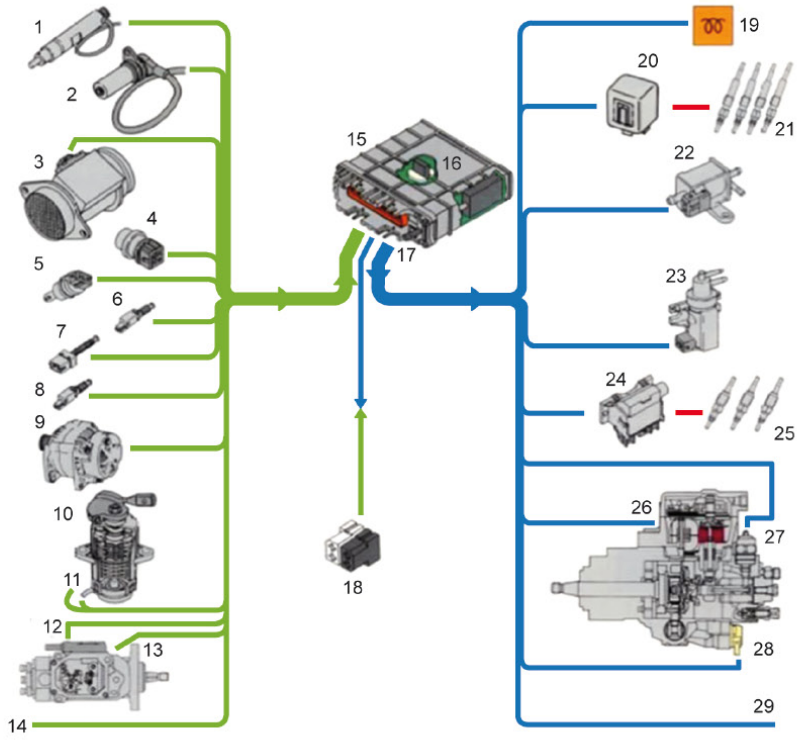
11.3.2. Evoluciones y otros sistemas

Con el objetivo de aumentar las prestaciones y reducir tanto el consumo como las emisiones contaminantes, surgieron las bombas de inyección rotativas con émbolo axial con control electrónico. Estos sistemas, como es sabido, se denominan EDC. Puede haber sistemas semielectrónicos y totalmente electrónicos. Los sistemas semielectrónicos pueden realizar el avance de la inyección a través de una electroválvula controlada por la unidad de control, funcionando el resto de componentes como en las bombas convencionales. En los sistemas totalmente electrónicos, la unidad de control gobierna el avance y el caudal de inyección, eliminando la conexión mecánica entre el pedal del acelerador y la bomba. En estos sistemas, la unidad de control también gestiona la electroválvula de corte de combustible, el tiempo de precalentamiento, la recirculación de los gases de escape y la presión de sobrealimentación. En la Figura 11.70 aparece un esquema genérico del sistema de inyección con bomba rotativa de émbolo axial con regulación EDC.

Los sistemas de inyección con bomba rotativa de émbolo axial con regulación EDC se emplean en muchos motores de inyección directa.

Estos sistemas se componen de un conjunto de sensores y actuadores, que se explican a continuación.

- **Sensores:**
  - **Sensor de carrera de la aguja:** este elemento se integra en uno de los inyectores y detecta el momento en el que empieza la apertura del inyector. Se compone de un bobinado que es alimentado de forma constante por la unidad de control con una intensidad de unos 30 mA, generando un campo magnético. En el interior del bobinado se instala un perno de presión, que



1. Sensor de carrera de la aguja.
2. Sensor de régimen de giro.
3. Medidor de la masa de aire.
4. Sensor de temperatura del refrigerante.
5. Sensor de temperatura del aire de admisión.
6. Conmutador del pedal de freno.
7. Conmutador de freno.
8. Conmutador del pedal de embrague.
9. Borne del alternador.
10. Sensor de posición del acelerador.
11. Interruptor de ralentí.
12. Sensor de posición del collarín de regulación.
13. Sensor de temperatura de combustible.
14. Señales suplementarias.
15. Unidad de control.
16. Sensor de presión atmosférica.
17. Sensor de presión del colector de admisión.
18. Conector de diagnóstico.
19. Testigo de precalentamiento y avería.
20. Relé de las bujías de incandescencia.
21. Bujías de incandescencia.
22. Electroválvula de control de presión de sobrealimentación.
23. Electroválvula de control de la recirculación de los gases de escape.
24. Relé de los calentadores adicionales.
25. Calentadores adicionales.
26. Dosificador.
27. Electroválvula de corte de combustible.
28. Electroválvula de control del avance de inyección.
29. Salidas suplementarias.

Figura 11.70. *Esquema genérico del sistema de inyección con bomba rotativa de émbolo axial con regulación EDC.*

© Ediciones Paraninfo

consiste en una prolongación del extremo superior de la aguja del inyector. El perno se mueve al ser empujado por la aguja, provocando una variación del campo magnético y, por tanto, una variación en la tensión de alimentación, que es continua. Gracias a esa perturbación, la unidad de control reconoce el inicio de inyección real y lo compara con el inicio teórico que tenía programado. En estos sistemas de alimentación se suelen instalar portainyectores bimuelle, que permiten realizar la inyección en dos fases, suavizando el proceso de combustión, ya que la presión en la cámara de combustión aumenta de forma más progresiva y, consecuentemente, se reducen las tensiones mecánicas y el ruido del motor. En el interior del inyector hay dos muelles con diferente rigidez, gracias a los cuales la inyección tiene lugar en dos fases:

» *Primera fase:* empieza cuando la fuerza del primer muelle es vencida por la presión del combustible, estando limitada la carrera de la aguja por el casquillo de empuje, que a su vez está sometido a la presión del segundo muelle. En esta fase se inyecta una pequeña cantidad de combustible, correspondiente a cargas del motor bajas. Cuando la carga del motor es más elevada, sirve para realizar una preinyección que favorece un aumento progresivo de la presión en la cámara de combustión, antes de producirse la inyección principal.

» *Segunda fase:* comienza cuando la presión del combustible es capaz de vencer la fuerza del primer muelle y del segundo por medio del casquillo de empuje. Durante esta fase se realiza la inyección principal, dándose a cargas medias y altas.

La Figura 11.71 muestra el sensor de carrera de la aguja y el funcionamiento del portainyector bimuelle.

Sabías que...

En motores de inyección directa, para poder pulverizar el combustible finamente en el interior del cilindro, se necesitan presiones de unos 800 bar.

– **Sensor de régimen de giro y posición angular del cigüeñal:** este sensor es muy similar a los empleados en motores de gasolina y proporciona una señal fundamental para el cálculo del caudal inyectado y para el inicio de la inyección. Esta señal también puede ser

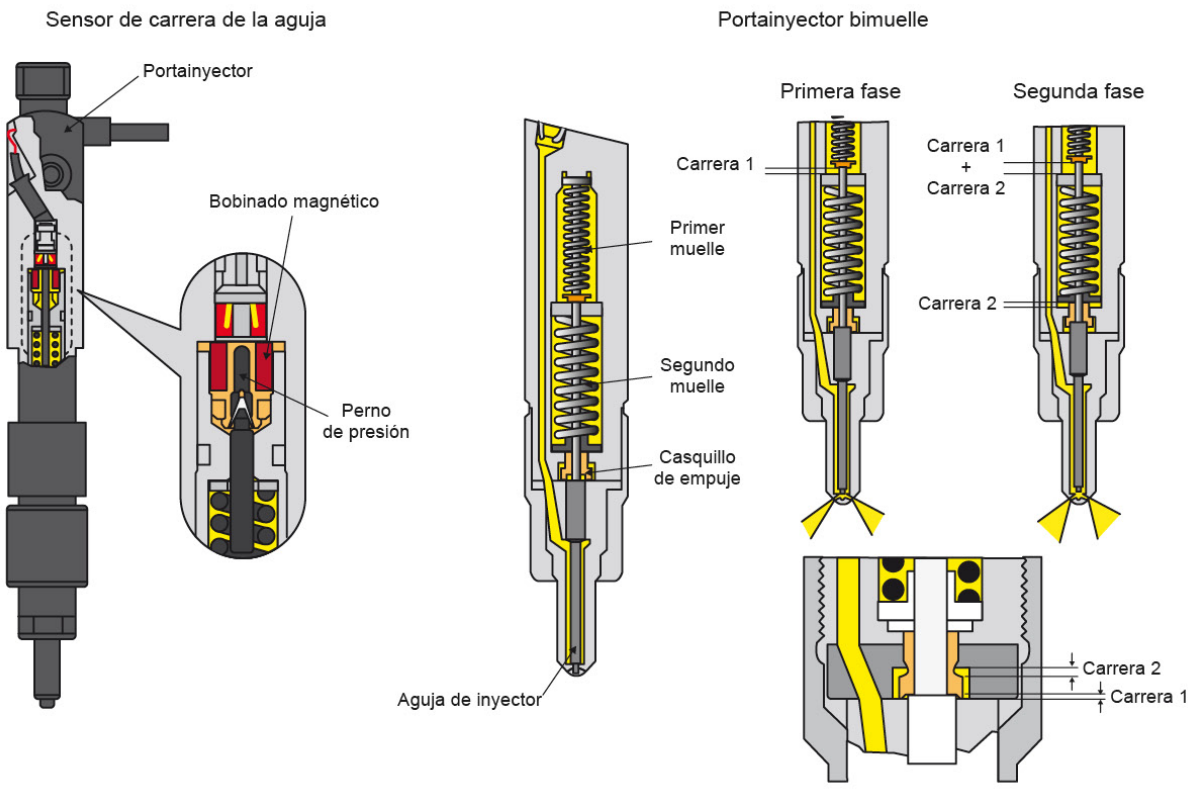


Figura 11.71. *Sensor de carrera de la aguja y el funcionamiento del portainyector bimuelle.*

© Ediciones Paraninfo

utilizada para la gestión de la recirculación de los gases de escape, el tiempo de precalentamiento y como información al cuadro de instrumentos para el cuentarrevoluciones.

– **Sensor de posición del acelerador con interruptor de ralentí incorporado:** este dispositivo se ubica en el soporte del pedal del acelerador, dentro del habitáculo y es accionado por un cable de poca longitud, que provoca un par de giro alrededor de su eje. Gracias a un potenciómetro, la unidad de control reconoce con precisión la posición del pedal, interpretando la demanda de potencia por parte del conductor. En la carcasa donde se monta el transmisor, se dispone de un muelle de torsión que ofrece una reacción a la fuerza aplicada sobre el pedal. La señal ofrecida por el sensor de posición es necesaria para el cálculo del caudal y avance de la inyección. En el mismo sensor va integrado el interruptor de ralentí, que informa a la unidad de control de la posición de reposo del acelerador. Además, para los vehículos con cambio automático, se instala otro interruptor de kick-down. La Figura 11.72 muestra un esquema del sensor de posición del acelerador con interruptor de ralentí incorporado.

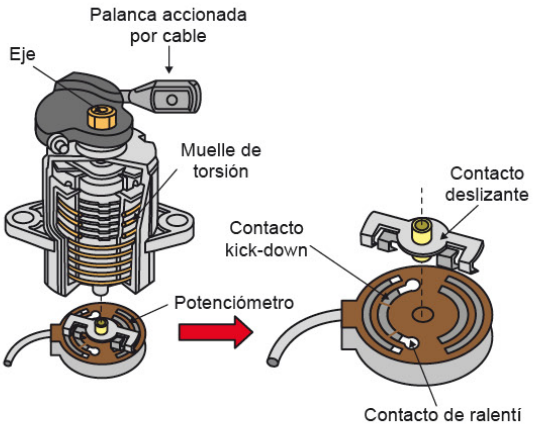


Figura 11.72. *Sensor de posición del acelerador con interruptor de ralentí incorporado.*

Sabías que...

La función kick-down en los vehículos de transmisión automática consiste en incrementar la aceleración reduciendo a una marcha menor de forma automática, a partir de una determinada posición del pedal del acelerador.

– **Medidor de la masa de aire:** el medidor de la masa de aire suele ser de película caliente, como los que se emplean en muchos motores de gasolina. Se instala después del filtro del aire y antes del compresor, si es que lo monta. La señal ofrecida por el medidor sirve para que la unidad de control calcule la masa aspirada. Esto es necesario para ajustar la proporción de gases de escape recirculados y para regular el caudal de combustible inyectado.

Recuerda que...

Al igual que en los sistemas de alimentación de gasolina, existen otros dispositivos para que la unidad de control reconozca la posición del acelerador.

La recirculación de gases de escape es un dispositivo anticontaminación que sirve para reducir las emisiones de NO_X.

– **Sensor de temperatura del refrigerante:** la temperatura del líquido refrigerante es transmitida a la unidad de control a través de una sonda de tipo NTC. Esta información es necesaria para calcular el caudal y avance de inyección, así como para calcular el tiempo de precalentamiento y la proporción de gases de escape recirculados.

– **Sensor de temperatura del aire de admisión:** consiste en una sonda de tipo NTC, cuya información es utilizada por la unidad de control para limitar la presión de soplado, si el motor es sobrealimentado.

– **Conmutador de pedal de freno, de freno y de pedal de embrague:** los conmutadores de pedal de freno y de freno van instalados en el propio pedal. El primero se encarga de activar las luces de freno y el segundo sirve exclusivamente para la gestión electrónica. Su funcionamiento es opuesto, es decir, cuando uno está en reposo, está abierto, y cuando el otro está en reposo, está cerrado. La señal de los dos conmutadores la emplea la unidad de control para realizar el corte de inyección en deceleración y para comprobar la coherencia de la información. El conmutador de pedal de embrague informa a la unidad de control de si está o no en su posición de reposo, con el fin de modificar el caudal inyectado. De esta forma se reduce la cantidad de combustible inyectado durante un breve periodo de tiempo, suavizando el funcionamiento del motor durante los cambios de marcha. La Figura 11.73 muestra estos conmutadores.

– **Sensor de presión atmosférica y de presión del colector de admisión:** estos dos sensores pueden ir instalados en la unidad de control y suelen ser de tipo piezoeléctrico. El sensor de presión atmosférica sirve

© Ediciones Paraninfo

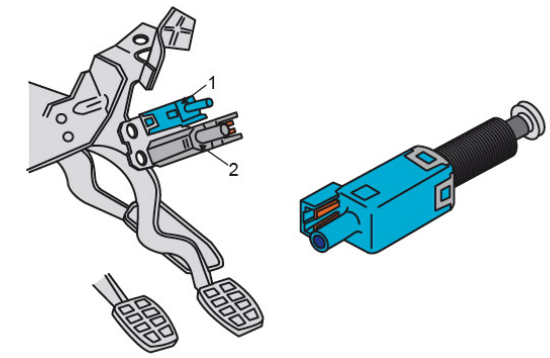


Figura 11.73. *Conmutador de pedal de freno y de freno, y conmutador de pedal de embrague.*

para que la unidad de control establezca el valor límite de la presión de sobrealimentación. El de presión en el colector de admisión registra la presión de soplado y la limita cuando llega a un cierto valor. Estos sensores se emplean en motores sobrealimentados.

– **Sensor de posición del collarín de regulación con sensor de temperatura del combustible incorporado:** este dispositivo se encuentra en el interior del cuerpo de la bomba rotativa, recibiendo el movimiento del eje del dosificador que acciona el collarín de regulación. Consta de dos captadores de tipo inductivo, por lo que no está sometido a desgastes mecánicos, ya que no hay contacto físico entre elementos. Tampoco hay errores de medición por caídas de tensión debidas al fluido en el que se sumerge. Cada captador está formado por un paquete de chapas y una bobina. Por otro lado, uno incorpora un anillo de cortocircuito fijo y el otro dispone de uno móvil. Las bobinas de los captadores son alimentadas con una tensión alterna de 10 kHz de frecuencia y de valor medio 5 V. Con esto se consigue un campo magnético alterno, que varía en función del anillo móvil. Debido a lo anterior, varía la tensión media a la salida del bobinado, sirviendo esta como información a la unidad de control. La señal del captador móvil se emplea para conocer la posición del collarín de regulación y la del captador fijo como referencia de la anterior, saliendo ambas con un mismo desfase hacia la unidad de control. La señal de este dispositivo es necesaria para que la unidad de control compare la posición real del collarín de regulación con la calculada teóricamente. La información del sensor de temperatura del combustible es recogida por la unidad de control para corregir el caudal de combustible inyectado. Esto es necesario porque la densidad del combustible varía con la temperatura. Como la cámara de alta presión en las bombas de émbolo axial es de muy reducidas dimensiones, por muy poco que varíe la masa de combustible con la temperatura puede no producirse una dosificación correcta. El sensor de temperatura de tipo NTC evita esta situación. La Figura 11.74 muestra los elementos principales del sensor de posición del collarín de regulación con sensor de temperatura del combustible incorporado.

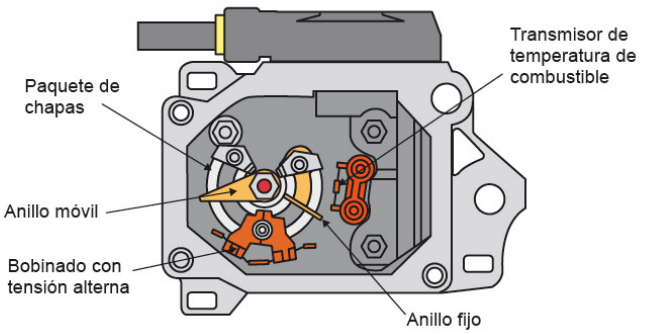


Figura 11.74. *Elementos principales del sensor de posición del collarín de regulación con sensor de temperatura del combustible incorporado.*

La señal de referencia del captador fijo del sensor de posición del collarín de regulación es utilizada por la unidad de control para evitar las variaciones que sufre la señal del sensor móvil, por ejemplo, por efecto de la temperatura. Esto es posible porque la señal de referencia está sometida a las mismas condiciones de trabajo y sufre las mismas fluctuaciones que la del sensor móvil.

– **Otras señales:** en los sistemas EDC pueden ser necesarias otras señales suplementarias para adaptar el motor a diferentes condiciones de trabajo, como por ejemplo la de conexión del aire acondicionado, la de velocidad del vehículo, la del inmovilizador… Por otro lado puede ser necesaria la señal del borne positivo del alternador para regular los calentadores del sistema de calefacción adicional, si lo lleva el vehículo.

- **Actuadores:**

– **Dosificador regulador del caudal:** este dispositivo se encuentra en la parte superior de la bomba rotativa. Está controlado por la unidad de control y su función es la de modificar el caudal de combustible suministrado, variando la posición del collarín de regulación. Esto último se lleva a cabo a través de un eje giratorio, en cuyo extremo se encuentra una rótula excéntrica. El eje puede girar un ángulo de unos 60° y regula el caudal de mínimo a máximo, de forma precisa y continua. El eje del regulador es accionado por un motor eléctrico de corriente continua formado por un inducido,

© Ediciones Paraninfo

que constituye el eje giratorio, y un bobinado, que genera el campo magnético en función de la excitación a masa que realiza la unidad de control. El eje retrocede a la posición de corte de combustible gracias a la acción de un muelle, siendo esta su posición inicial o de reposo. Con la variación de la tensión de excitación del bobinado por parte la unidad de control, esta puede controlar la posición del eje y vencer la fuerza del muelle. En la parte superior del eje se dispone el sensor de posición del collarín de regulación, que sirve de realimentación, teniendo un sistema de control de bucle cerrado. La posición del eje dependerá de las señales principales de posición de acelerador y régimen de giro, y de otras compensadoras como la temperatura del refrigerante, la masa de aire aspirada… La Figura 11.75 muestra los elementos principales del dosificador regulador del caudal.

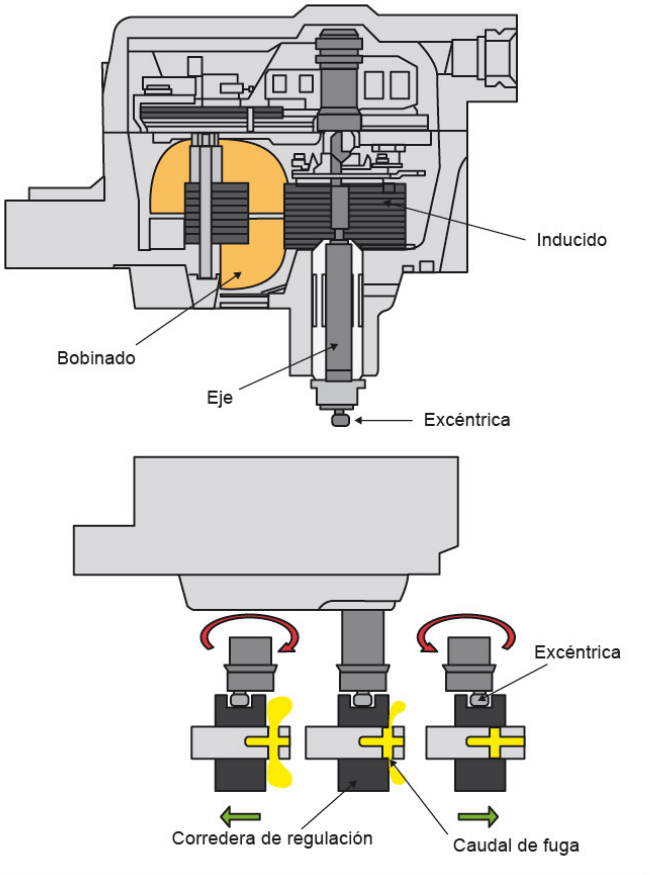


Figura 11.75. *Elementos principales del dosificador regulador del caudal.*

– **Electroválvula para la regulación del avance de inyección:** este elemento está situado próximo al variador de avance de la bomba y se encarga de modificar el avance, controlando la presión de combustible aplicada al émbolo del variador. Esta electroválvula está formada por un bobinado, un émbolo y un muelle. En su posición de reposo, el émbolo cierra el paso de combustible por la acción del muelle. La unidad de control se encarga de controlar la apertura de la electroválvula, regulando el combustible que se dirige hacia el retorno. De esta forma se puede gobernar la presión de combustible que se aplica al émbolo del variador y, por tanto, el avance de inyección. La unidad de control establece un avance teórico en función de la información recibida de diversos sensores. Con el sensor de carrera de la aguja reconoce el inicio exacto de la inyección y lo compara con el valor teórico. En consecuencia, operará sobre la electroválvula de regulación del avance. De esta forma se tiene un sistema de regulación automática de bucle cerrado. La unidad de control controla la electroválvula con una excitación a masa, teniéndose una señal de tipo PWM. Así, controlando la anchura del pulso se puede modificar el tiempo de activación de la electroválvula y la presión de combustible sobre el émbolo del variador. En la Figura 11.76 está representado este dispositivo.

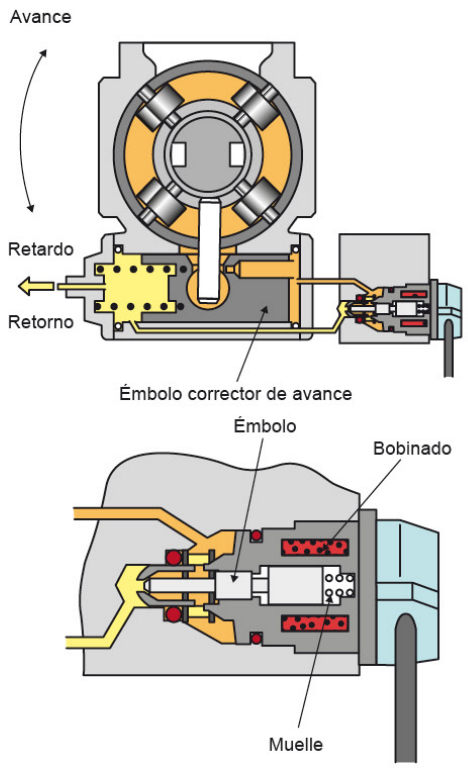


Figura 11.76. *Electroválvula para la regulación del avance de inyección.*

– **Electroválvula de corte de combustible:** esta electroválvula es similar a la de los sistemas convencionales, salvo que ahora pasa a estar controlada por la unidad de control.

© Ediciones Paraninfo

– **Otros actuadores:** en función del tipo de motor, se pueden tener otros actuadores. Algunos ejemplos son las bujías de incandescencia para la calefacción adicional mostradas en la Figura 11.77, la electroválvula de control de la presión de sobrealimentación, la electroválvula de recirculación de gases de escape…

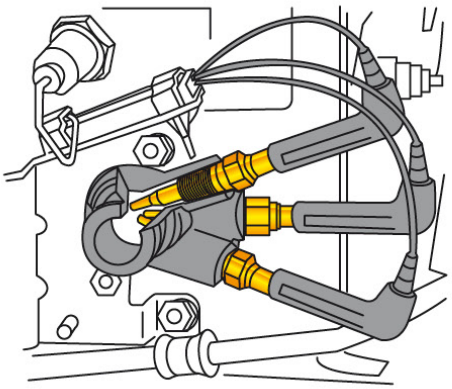


Figura 11.77. *Bujías de incandescencia para la calefacción adicional.*

Sabías que...

Los motores diésel de inyección directa son muy adiabáticos, es decir, que transmiten poco calor al sistema de refrigeración. Esto puede afectar al funcionamiento de la calefacción en climas fríos, por lo que es necesario instalar un sistema de bujías de incandescencia que calienten el líquido refrigerante en el tramo que se dirige hacia el radiador de la calefacción.

11.3.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones

El mantenimiento de los sistemas de inyección con bomba rotativa es similar al de otros sistemas de alimentación, comprendiendo la sustitución de los filtros.

Las operaciones a realizar sobre este sistema se pueden dividir en operaciones sobre la bomba y operaciones sobre los elementos EDC, si incorpora regulación electrónica.

- **Operaciones sobre la bomba:** las operaciones sobre la bomba de inyección rotativa varían muy poco con respecto a otro tipo de bombas. A modo de referencia, a continuación se van a explicar los pasos genéricos de reparación de una bomba rotativa mecánica, que se dividen en los siguientes grupos:

  – **Desmontaje:** consiste en extraer la bomba del motor. Los pasos fundamentales, mostrados en la Figura 11.78, son los siguientes:

    » Desconectar el borne negativo de la batería, la electroválvula de corte, el cable del acelerador y el cable de arranque en frío.

    » Colocar el pistón del cilindro 1 en el PMS de la carrera de compresión.

    » Desconectar los conductos de entrada y retorno de combustible, así como las tuberías de alta presión.

    » Desacoplar la bomba del sistema de distribución.

    » Quitar los tornillos y tuercas de fijación y extraer la bomba.

Recuerda que...

El desmontaje de la bomba de inyección ha de llevarse a cabo una vez confirmado que la avería procede de la bomba y no es debida a otras causas.

  – **Desarmado:** los elementos principales, clasificados según su orden de desmontaje, son los siguientes:

    » Dispositivo de arranque en frío.

    » Cubierta del regulador.

    » Dispositivo compensador de la presión de sobrealimentación (pudiendo a su vez ser desmontado).

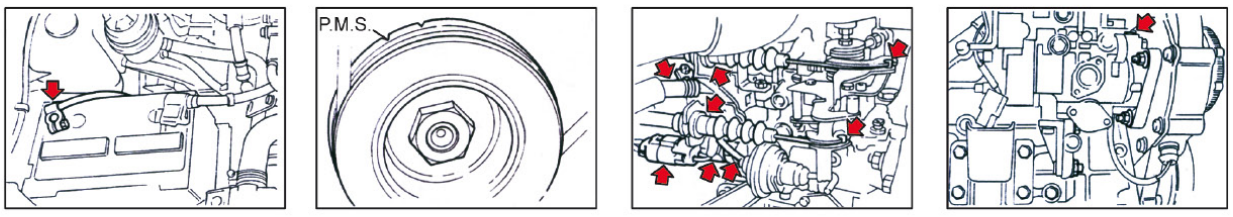


Figura 11.78. *Operaciones básicas del desmontaje de la bomba.*

© Ediciones Paraninfo

» Eje del regulador y conjunto de contrapesos.

» Tapón de la cabeza distribuidora, válvulas de suministro y electroválvula de corte de combustible.

» Cabeza distribuidora.

» Émbolo distribuidor, con el collarín de regulación, el espaciador, el asiento de los muelles y los muelles.

» Palanca de regulación.

» Disco de levas y cruceta.

» Anillo de rodillos.

» Árbol de mando.

» Tapa del conjunto de avance y conjunto del variador de avance, con los resortes y el émbolo.

» Válvula reguladora del avance.

» Tapa y bomba de transferencia conjuntamente.

» Retén del árbol de mando, sustituyéndolo por uno nuevo.

Tras el desarmado de la bomba hay que limpiar todas las piezas, sustituyendo aquellas que estén defectuosas o gastadas. El borde del émbolo distribuidor debe estar afilado, ya que si no es así habrá que sustituirlo. Hay que comprobar la altura de todos los rodillos, no debiendo superar una diferencia de altura entre ellos superior a 0,02 mm.

La Figura 11.79 representa las operaciones más importantes del desarmado de la bomba.

Recuerda que...

Antes de proceder al desarmado de la bomba es conveniente probarla en banco y anotar los resultados obtenidos para luego compararlos. La bomba y el puesto de trabajo deben estar perfectamente limpios. Las operaciones sobre las bombas de inyección son muy delicadas, por lo que hay que disponer del utillaje específico y del manual del fabricante.

– **Armado:** para armar la bomba, se procede en orden inverso al desarmado, teniendo en cuenta los reglajes

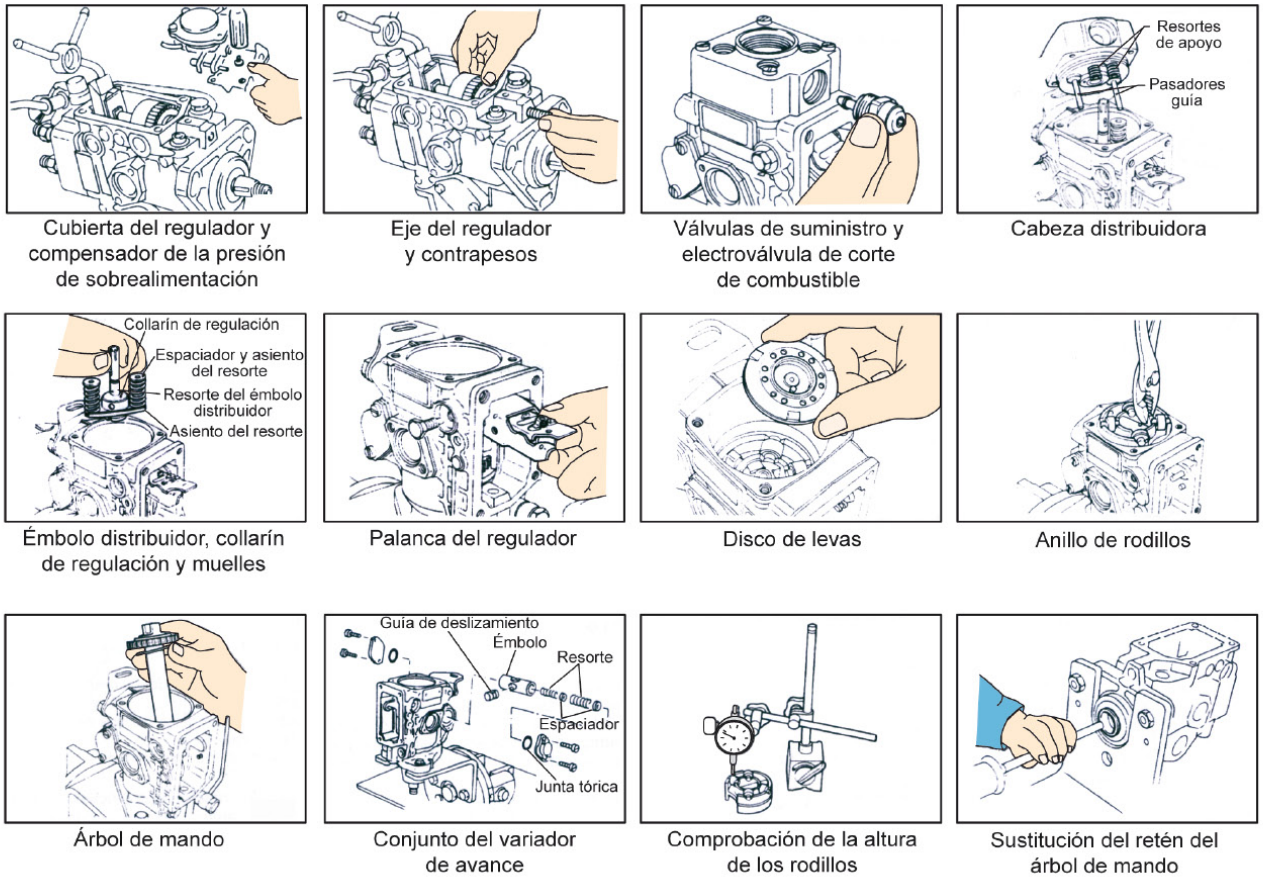


Figura 11.79. *Operaciones fundamentales del desarmado de la bomba.*

© Ediciones Paraninfo

de cada elemento, indicados en el manual de fabricante. Hay que tener en cuenta que en caso necesario, los siguientes elementos deben sustituirse como un conjunto:

» Cabeza distribuidora, émbolo distribuidor y collarín de regulación.

» Bomba de transferencia.

» Juego de muelles del émbolo distribuidor.

» Rodillos.

» Contrapesos del regulador.

» Palanca de regulación.

– **Prueba en banco:** la bomba ha de probarse en banco antes de desarmarla y tras su armado. Las operaciones principales son las que se enumeran a continuación:

» Ajuste del tope de plena carga.

» Ajuste de la presión de la bomba de transferencia.

» Ajuste de la carrera del émbolo del variador de avance.

» Ajuste del compensador de presión de sobrealimentación, si lo incorpora.

» Comprobación del ajuste del caudal de plena carga.

» Ajuste del caudal al ralentí.

» Ajuste del caudal durante la fase de arranque.

» Ajuste del caudal a régimen de giro máximo.

» Medición de la cantidad de combustible sobrante.

– **Montaje:** para realizar el montaje de la bomba en el motor, se procede en orden inverso al desmontaje. Las operaciones principales, algunas de ellas mostradas en la Figura 11.80, son las siguientes:

» Comprobar que el pistón del cilindro 1 está en el PMS al final de la carrera de compresión.

» Montar la bomba de inyección.

» Colocar el mecanismo de distribución, dependiendo del tipo que sea.

» Girar el cigüeñal en sentido inverso unos 60° antes del PMS del cilindro 1.

» Desmontar el tornillo de la cabeza distribuidora e instalar un reloj comparador.

» Poner el comparador a cero y mover el cigüeñal en su sentido de giro normal hasta enfrentar las marcas de PMS, anotando la medida del comparador al final de esta operación, comparándola con el manual del fabricante.

» Si el valor no está dentro de lo especificado, girar el cuerpo de la bomba en sentido de avance o de

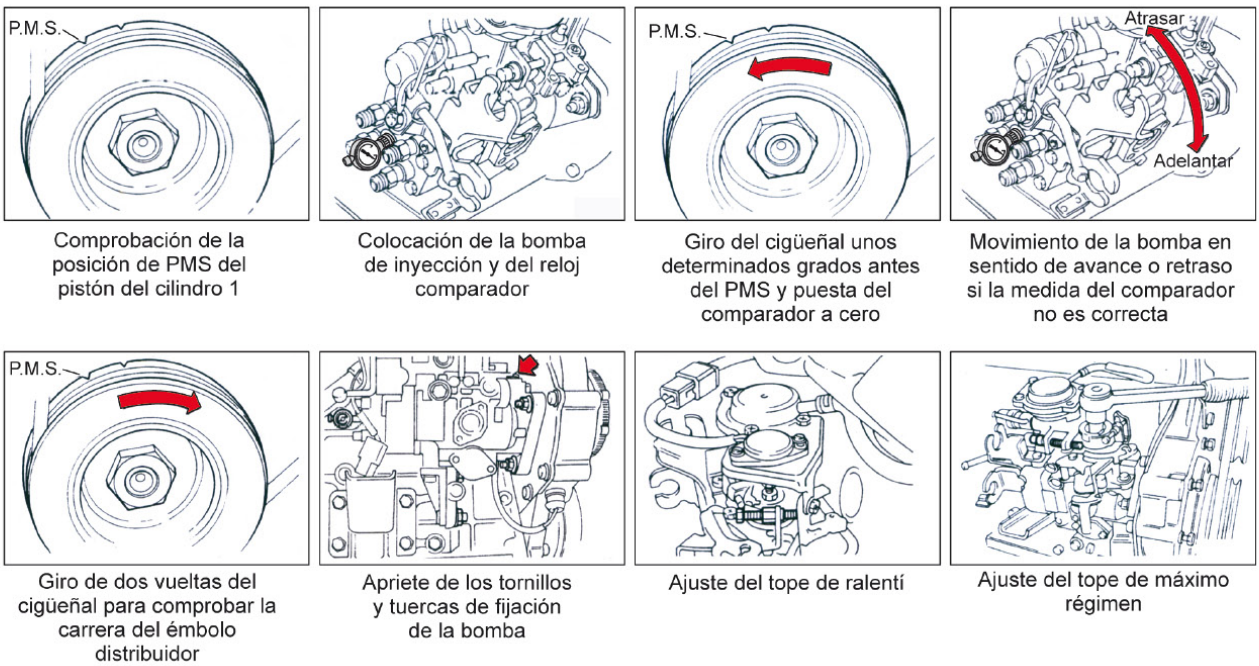


Figura 11.80. *Operaciones principales del montaje de la bomba en el motor.*

© Ediciones Paraninfo

retraso, según convenga, gracias a los colisos que tiene para su fijación al bloque del motor.

» Apretar los tornillos y tuercas de fijación y volver a hacer la comprobación con el reloj comparador, tras haber rotado dos vueltas el cigüeñal. Si no es correcto habría que repetir la operación.

» Conectar las tuberías de alta presión y los cables.

» Ajustar el tope de ralentí y de máximo régimen, con ayuda de un tacómetro.

» Ajustar el dispositivo de arranque en frío.

- **Operaciones sobre los elementos del sistema EDC:** antes de comprobar los elementos del sistema de inyección con regulación electrónica, hay que verificar el circuito de aire y de combustible. Para realizar las comprobaciones se puede utilizar máquina de diagnosis. Si no se dispone de ella, en la mayoría de los casos basta con un polímetro, un osciloscopio y el manual del fabricante. A continuación se van a explicar, de modo general, las operaciones sobre los elementos del sistema EDC, teniendo en cuenta que pueden variar en función de la marca y modelo del vehículo.

  – **Unidad de control:** deberán comprobarse las conexiones a masa y los terminales de alimentación. Muchas veces, la alimentación llega a través de un relé que se activa con el contacto o con la señal de arranque. Este relé es susceptible de ser comprobado en caso de que no llegase alimentación a la unidad de control.

  – **Sensor de carrera de la aguja:** en este sensor hay que comprobar la resistencia del bobinado, que debe oscilar entre 90 y 150 Ω. También debe verificarse el aislamiento a masa. Si se monitoriza la señal con un osciloscopio, esta debe aumentar su amplitud a medida que se incrementa el régimen de giro. Por otro lado se puede comprobar la frecuencia de la señal con un polímetro que permita hacer esta medida. La frecuencia estará comprendida entre 6 y 10 Hz al ralentí, aumentando conforme lo haga la velocidad de giro del motor. Si se avería el sensor de carrera de la aguja, la unidad de control pone en marcha un modo de emergencia, donde se establece un avance de inyección fijo en función de los valores teóricos que tiene programados y se reduce el caudal inyectado.

Si además del sensor de carrera de la aguja se avería el sensor de régimen de giro, el motor se para.

  – **Sensor de régimen de giro y posición angular del cigüeñal:** este sensor se comprueba de la misma forma que los que se emplean en motores de gasolina, teniendo la misma señal característica. En caso de avería, la unidad de control pasa a un modo de emergencia y el régimen de giro es estimado con la señal del sensor de carrera de la aguja. Este modo de emergencia implica que el avance de inyección se calcula a partir de valores teóricos prefijados y se limita tanto el caudal inyectado como la presión de soplado, si el vehículo es sobrealimentado. Por otro lado, el corte en deceleración y el aire acondicionado, si lo equipa, quedan desactivados. El conductor percibirá un ralentí acelerado ya que no se lleva a cabo la estabilización del ralentí y que al soltar el acelerador, bajando una pendiente por ejemplo, el motor no retiene de la misma forma.

  – **Sensor de posición del acelerador con interruptor de ralentí incorporado:** lo primero que hay que verificar es si a este sensor le llega alimentación de la unidad de control, con un valor de 5 V. En su posición de reposo, entre el terminal de señal y masa, debe registrarse una tensión de entre 0,2 y 0,5 V. Por otro lado, con el pedal pisado a fondo, la tensión deberá ser de unos 3,4 V. Estas comprobaciones pueden hacerse con un polímetro o con un osciloscopio. El osciloscopio sirve, además, para comprobar que en el accionamiento progresivo del pedal, la señal varía homogéneamente y sin saltos bruscos. También se puede comprobar el interruptor de ralentí con un polímetro. En caso de avería del sensor de posición del acelerador, la unidad de control pone en funcionamiento un modo de emergencia en el que se fija un régimen de giro del motor de unas 1300 rpm, no respondiendo a la demanda de potencia del conductor. Si fallara el interruptor de ralentí, la unidad de control no corrige el caudal inyectado.

  – **Medidor de la masa de aire:** este dispositivo puede ser de diferentes tipos, como los de los vehículos de gasolina, verificándose de la misma forma. Si el medidor se averiara, la unidad de control conmutaría a un modo de emergencia en el que se reduciría la presión de soplado a un valor fijo, en caso de vehículos con sobrealimentación, de forma que se optimice el funcionamiento del motor a carga parcial.

Recuerda que...

El medidor de la masa de aire más habitual en los motores diésel modernos es el de película caliente con detección del retroceso del aire.

  – **Sensor de temperatura del refrigerante:** las características y verificaciones de este sensor son las mismas que para vehículos de gasolina. En el sistema EDC, si

© Ediciones Paraninfo

falla el sensor de temperatura del refrigerante, la unidad de control, en su modo de emergencia, sustituye su señal por la de temperatura del combustible. Por otro lado, se establece un tiempo de precalentamiento máximo y no se pone en marcha la calefacción adicional.

– **Sensor de temperatura del aire de admisión:** como valor de referencia, la caída de tensión en este sensor a una temperatura de 20 °C debe ser de unos 3 V. En caso de avería, la unidad de control hace sus cálculos con respecto a un valor fijo de la temperatura del aire admitido de 20 °C. Por otro lado, limita la presión de soplado si el vehículo es sobrealimentado.

– **Conmutador de pedal de freno, de freno y de pedal de embrague:** si existe alguna avería en los conmutadores del pedal de freno o si su señal no es coherente, la unidad de control modifica el caudal inyectado. Sin embargo, si el conmutador de pedal de embrague falla, no se corrige el caudal.

– **Sensor de presión atmosférica y de presión del colector de admisión:** en caso de avería de alguno de estos dos sensores, la unidad de control entra en un modo de emergencia en el que no se regula la presión de soplado, si el vehículo es sobrealimentado. En su lugar, se establece una corriente de excitación fija para la electroválvula de regulación de la presión de sobrealimentación.

Si el sensor de presión atmosférica y el de presión en el colector de admisión se montan en la unidad de control y se averían, no se pueden reparar y hay que sustituir la unidad de control completa.

– **Sensor de posición del collarín de regulación con sensor de temperatura del combustible incorporado:** si el sensor de posición del collarín de regulación se averiara, el motor se para por seguridad, ya que la unidad de control corta el combustible a través del dosificador, llevándolo a la posición de parada. Si falla el sensor de temperatura del combustible, la unidad de control establece un valor fijo y a partir de ahí regula el caudal inyectado. A modo de referencia, para una temperatura del combustible de 10 °C, la caída de tensión en el sensor de temperatura ha de ser de unos 3,7 V, siendo para 60 °C de 1,5 V, comprobándose la característica de una resistencia NTC.

– **Dosificador regulador del caudal:** para verificar este actuador lo primero que hay que hacer es desconectar la unidad de control y comprobar la resistencia de su bobinado, que debe ser de alrededor de 1 Ω. Posteriormente se conecta la unidad de control y se activa el contacto, comprobándose que al dosificador le llega tensión de batería. Después, se arranca el motor y con un polímetro en posición de medida de frecuencia, se comprueba que esta oscila entre 200 y 900 Hz, dependiendo del caudal necesario. Esta última comprobación se puede realizar con un osciloscopio.

Si el dosificador se avería, el motor se para, ya que el muelle lo devuelve a su posición de reposo y el collarín de regulación se desplaza en sentido de máxima fuga de combustible del émbolo distribuidor.

– **Electroválvula para la regulación del avance de inyección:** la primera comprobación de esta electroválvula consiste en medir la resistencia de su bobinado. Para ello se desconecta la unidad de control y se utiliza un polímetro. El valor de resistencia debe estar comprendido entre 14 y 25 Ω. Seguidamente se conecta la unidad de control y se activa el contacto, verificando que la electroválvula es alimentada con tensión de batería. Con ayuda de un osciloscopio se comprueba la señal de mando, que es de tipo PWM. De esta forma, debe observarse un porcentaje de conexión a masa del 50 % al ralentí, aumentando al acelerar. Cuando se suelta el acelerador, el porcentaje de conexión a masa disminuye momentáneamente a un 40 %. Si se avería la electroválvula, no se realiza la regulación del avance de la inyección y este queda excesivamente adelantado. La unidad de control establece un modo de emergencia en el que se corrige el caudal inyectado y se limita la presión de soplado, si el motor es sobrealimentado.

Recuerda que...

El porcentaje de conexión a masa, también conocido como ángulo Dwell, es la proporción del periodo de la señal en la que está conectada a masa.

Si la unidad de control, ante una avería en la electroválvula para la regulación del avance de inyección, no corrige el caudal inyectado y tampoco limita la presión de sobrealimentación, las tensiones mecánicas podrían ocasionar un daño grave en el motor.

– **Electroválvula de corte de combustible:** la comprobación de este elemento es similar a la de los sistemas mecánicos. Hay que desconectar la unidad de control

© Ediciones Paraninfo

para medir la resistencia de su bobinado, que debe ser de entre 6 y 9 Ω. Posteriormente, se conecta la unidad de control y se arranca el motor. En estas circunstancias, la tensión entre el terminal de alimentación y masa ha de ser la de batería. En caso de avería, el motor no arranca, ya que no se permite el paso de combustible hacia la cámara de alta presión.

– **Sistema de precalentamiento:** la comprobación de este conjunto es similar a la de otros sistemas, salvo que en los motores diésel con EDC, el tiempo de precalentamiento es controlado por la unidad de control. En muchas aplicaciones, el testigo de precalentamiento, mostrado en la Figura 11.81, también lo es de avería. La unidad de control hace que se ilumine de forma continua y durante un tiempo, mientras dure el precalentamiento. Sin embargo, lo ilumina de forma intermitente, de manera constante, cuando existe alguna avería grave en el sistema.

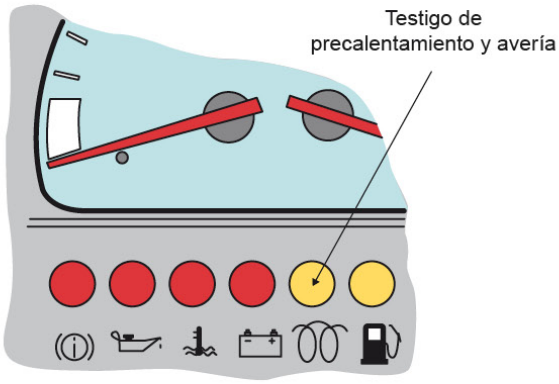


Figura 11.81. *Testigo de precalentamiento y avería.*

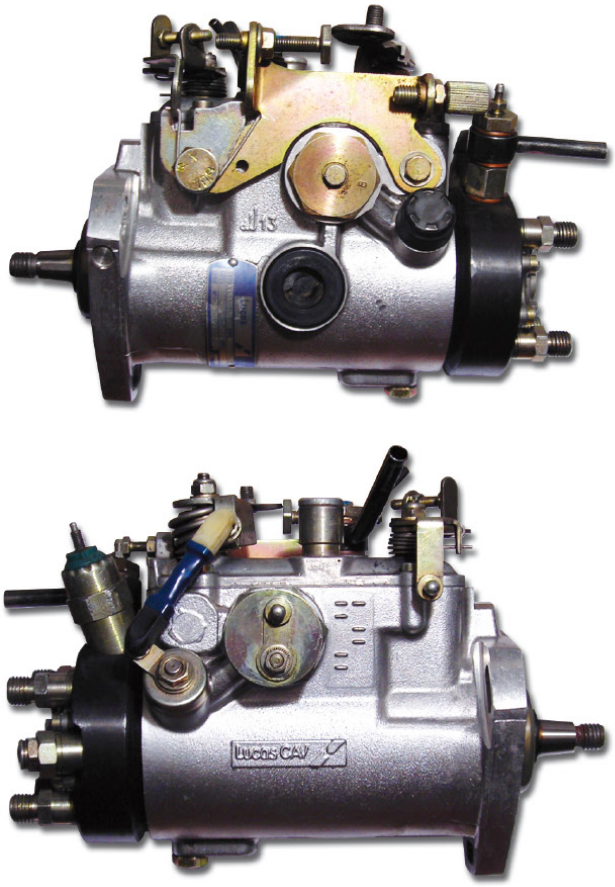


Figura 11.82. *Aspecto exterior de una bomba Lucas CAV de tipo DPC.*

La marca Bosch también fabrica bombas rotativas de émbolos radiales, como la VP 44.

11.4. Sistemas con bomba de inyección rotativa de émbolos radiales

11.4.1. Características, componentes y funcionamiento

Los componentes de este sistema de inyección diésel son prácticamente iguales que los que montan bombas rotativas de émbolo axial, a excepción de la bomba, que se explica a continuación, basándose en una de la marca Lucas CAV de tipo DPC. El aspecto exterior de esta bomba puede verse en la Figura 11.82.

Los elementos fundamentales de la bomba aparecen indicados en la Figura 11.83.

El esquema hidráulico de la bomba está representado en la Figura 11.84, que junto con la Figura 11.83, forman la base para explicar posteriormente el funcionamiento de cada elemento. La bomba de transferencia aspira combustible del depósito, pasando previamente por el filtro. A la salida de la bomba, si la electroválvula de corte está abierta, el combustible se envía a una presión regulada por una válvula al cabezal hidráulico, a la válvula diferencial y al dispositivo de sobrecarga en el arranque. La bomba se autolubrica con el propio combustible, llenándose de este su interior a la presión interna. Un conducto que comunica el interior de la bomba y el sobrante de los inyectores desembocan en el retorno hacia el depósito.

© Ediciones Paraninfo

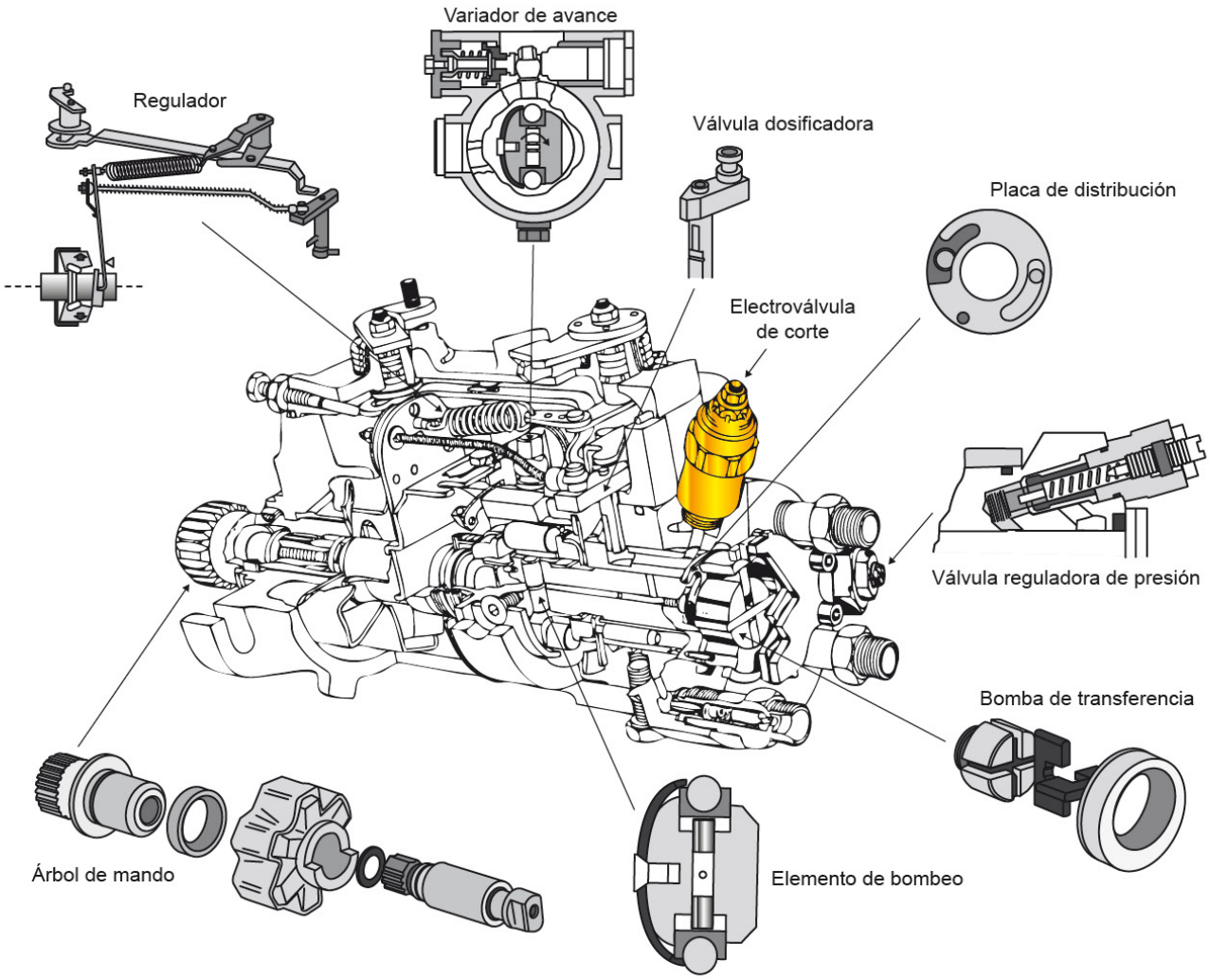


Figura 11.83. *Elementos fundamentales de la bomba Lucas CAV de tipo DPC.*

A continuación se van a explicar los elementos más importantes de este tipo de bomba.

- **Bomba de transferencia:** esta bomba, como muestra la Figura 11.85, consta de una camisa excéntrica, un rotor portapalas, las palas, y una placa distribuidora. En funcionamiento, dada su excentricidad, las cámaras varían su volumen generando un lado de aspiración y otro de impulsión, que provoca la presión de alimentación o transferencia a la bomba de alta presión. La placa distribuidora consta de dos lumbreras, una de entrada y otra de salida del combustible.

Recuerda que...

El funcionamiento y componentes de la bomba de transferencia en las bombas de émbolo axial es similar a las de émbolo radial.

- **Válvula reguladora de presión:** va instalada en el cabezal hidráulico y se encarga de regular la presión de alimentación, ajustándola en función del régimen de giro. Por otro lado, deja paso de combustible con el motor parado para poder realizar el cebado manual de la bomba en caso necesario. Los componentes y funcionamiento de la válvula reguladora de presión se explican por medio de la Figura 11.86. Si se desea cebar la bomba principal, a motor parado, el combustible entra en la válvula a la presión de cebado, desplazando el pistón regulador hacia la parte inferior de la misma, comprimiendo el muelle de cebado. De esta forma, se destapan los orificios de cebado, permitiendo el paso de combustible hacia el cabezal hidráulico. Cuando la bomba está en su modo de funcionamiento normal, la presión de transferencia se aplica desde el conducto que comunica la válvula con el cabezal hidráulico. A partir de cierta presión, el pistón regulador empieza a comprimir el muelle regulador

© Ediciones Paraninfo

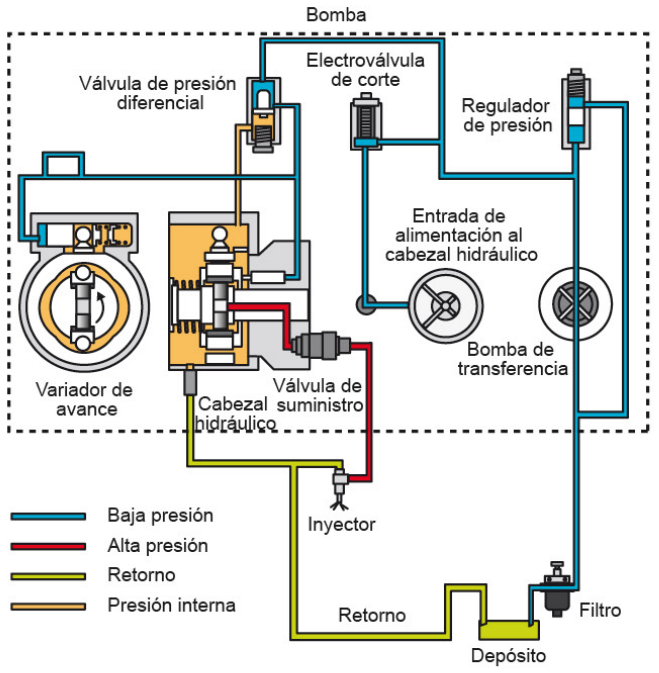


Figura 11.84. *Esquema hidráulico de la bomba Lucas CAV de tipo DPC.*

y se descubren los orificios de regulación, comunicando el lado de impulsión con el de aspiración de la bomba de transferencia. Consecuentemente, se limita la presión de alimentación al cabezal hidráulico. La fuerza del muelle regulador se puede ajustar con el tornillo de reglaje, siendo este fijado en una posición gracias a su contratuerca.

- **Cabezal hidráulico:** está formado por un cuerpo y un rotor. En el rotor se instala, a su vez, el elemento de bombeo. El cuerpo, mostrado en la Figura 11.87, se fija a la carcasa de la bomba en una única posición mediante tornillos. Sobre él se instalan elementos como las válvulas de suministro, la válvula reguladora de presión, la electroválvula de corte y la válvula dosificadora. También

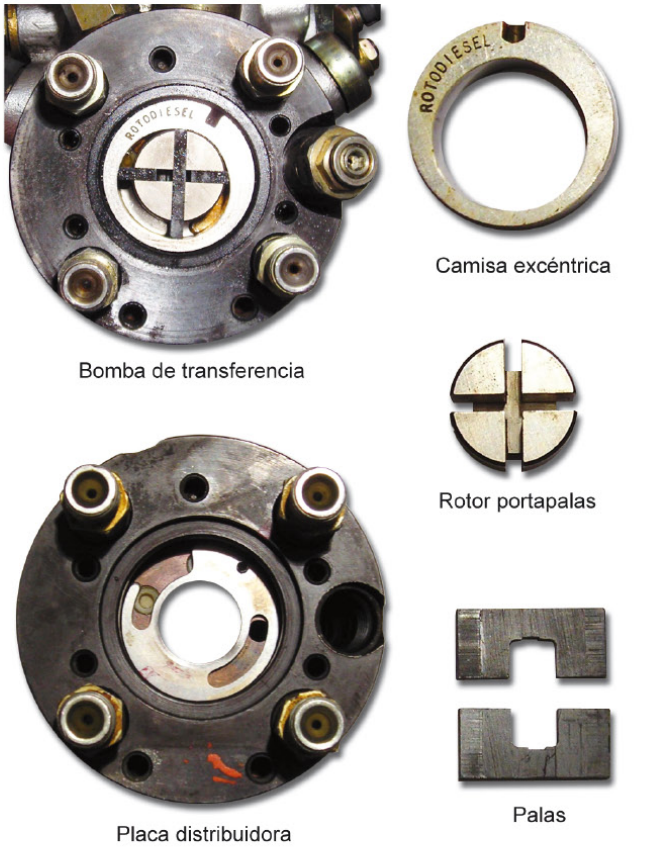


Figura 11.85. *Bomba de transferencia.*

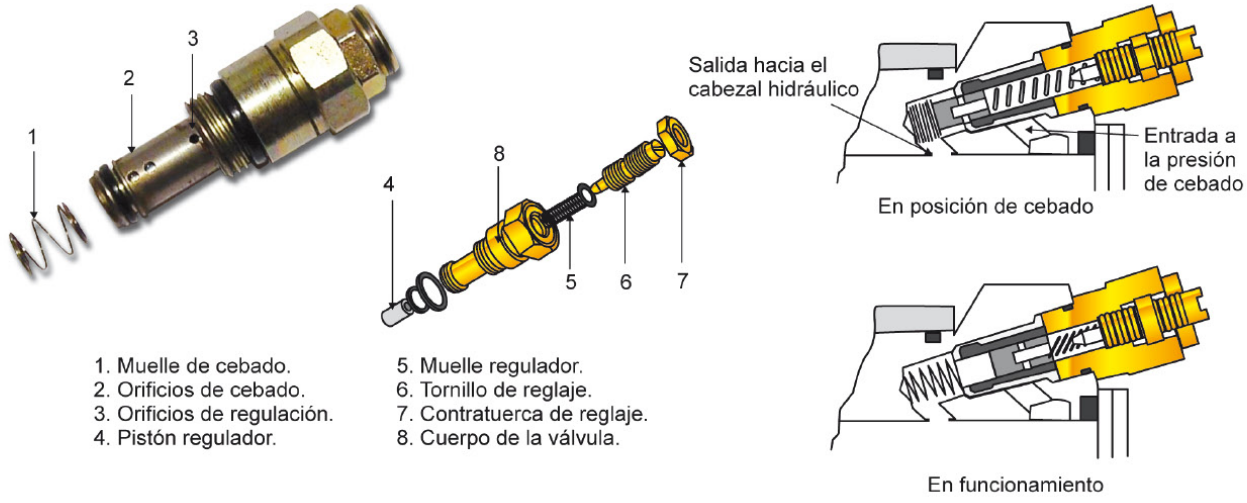


Figura 11.86. *Válvula reguladora de presión.*

© Ediciones Paraninfo

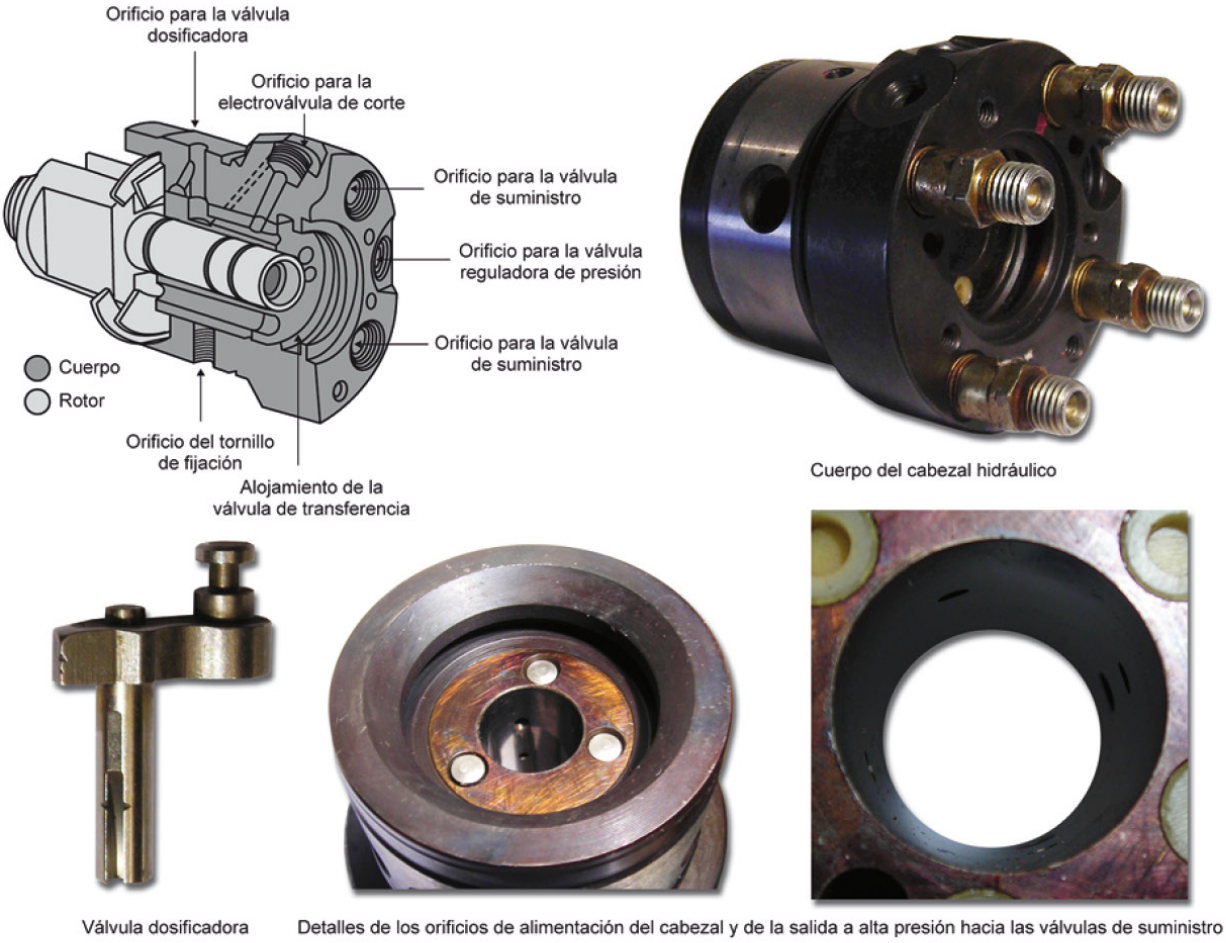


Figura 11.87. *Cuerpo del cabezal hidráulico.*

sirve de alojamiento para la bomba de transferencia. El combustible entra en el elemento de bombeo a través de los orificios de alimentación del cabezal, dispuestos de forma radial. Una vez generada la alta presión, el combustible sale hacia las válvulas de suministro por los cuatro orificios destinados a este fin, dispuestos de forma radial y a 90° cada uno, si el motor es de cuatro cilindros. Las válvulas de suministro son similares a las de las bombas rotativas de émbolo axial.

El rotor y sus elementos principales están representados en la Figura 11.88. Consta de dos émbolos, dos zapatas portarrodillos, dos rodillos, cuatro topes de zapata, dos placas distanciadoras y una placa de regulación. El rotor tiene mecanizado un taladro a lo largo de su eje y taladros radiales, que configuran las lumbreras de carga y la lumbrera de descarga. Es habitual que a la altura de la lumbrera de descarga se disponga perimetralmente una ranura de compensación.

El árbol de mando es el encargado de accionar el rotor mediante un acoplamiento de garras directo. Cuando el rotor gira, las zapatas portarrodillos arrastran los rodillos, que en su exterior están en contacto con el interior del anillo de levas, que permanece estático, siguiendo su perfil. En función de este perfil, la parte interior de las zapatas permitirá un determinado recorrido radial de los émbolos. El funcionamiento completo del cabezal hidráulico y los elementos más importantes que intervienen en el mismo se explican a través de la Figura 11.89. Cuando los rodillos no son atacados por las levas, la lumbrera de carga del cuerpo se enfrenta con una de las lumbreras de carga del rotor, entrando el combustible a la presión de dosificación al interior del elemento de bombeo. Esta presión es suficiente para separar los dos émbolos entre sí. El rotor sigue girando y los rodillos son atacados por las levas, acercándose, reduciendo el volumen de la cámara del elemento de bombeo y aumentado la presión del combustible. En ese momento, están cerradas las lumbreras de carga y se enfrentan la lumbrera de descarga del rotor con una de las de descarga del cuerpo, saliendo el combustible a presión hacia el inyector correspondiente. Para controlar la cantidad de combustible

© Ediciones Paraninfo

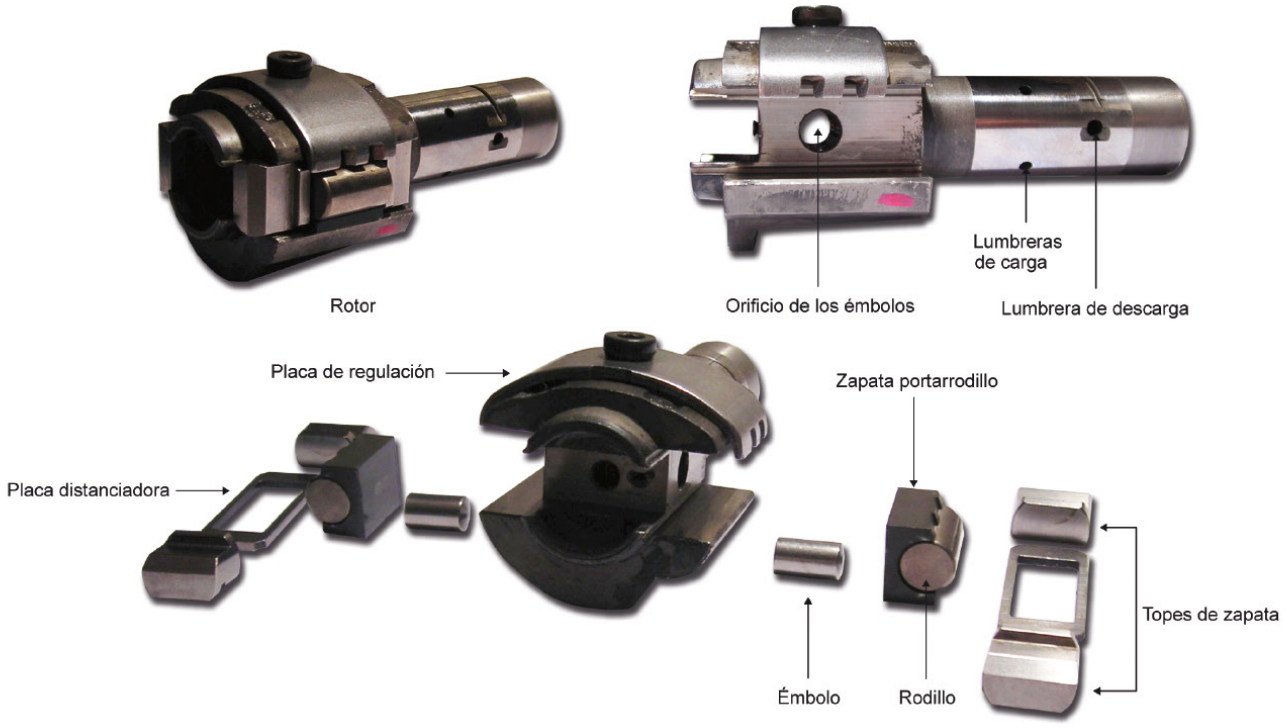


Figura 11.88. *Rotor y elementos principales del mismo.*

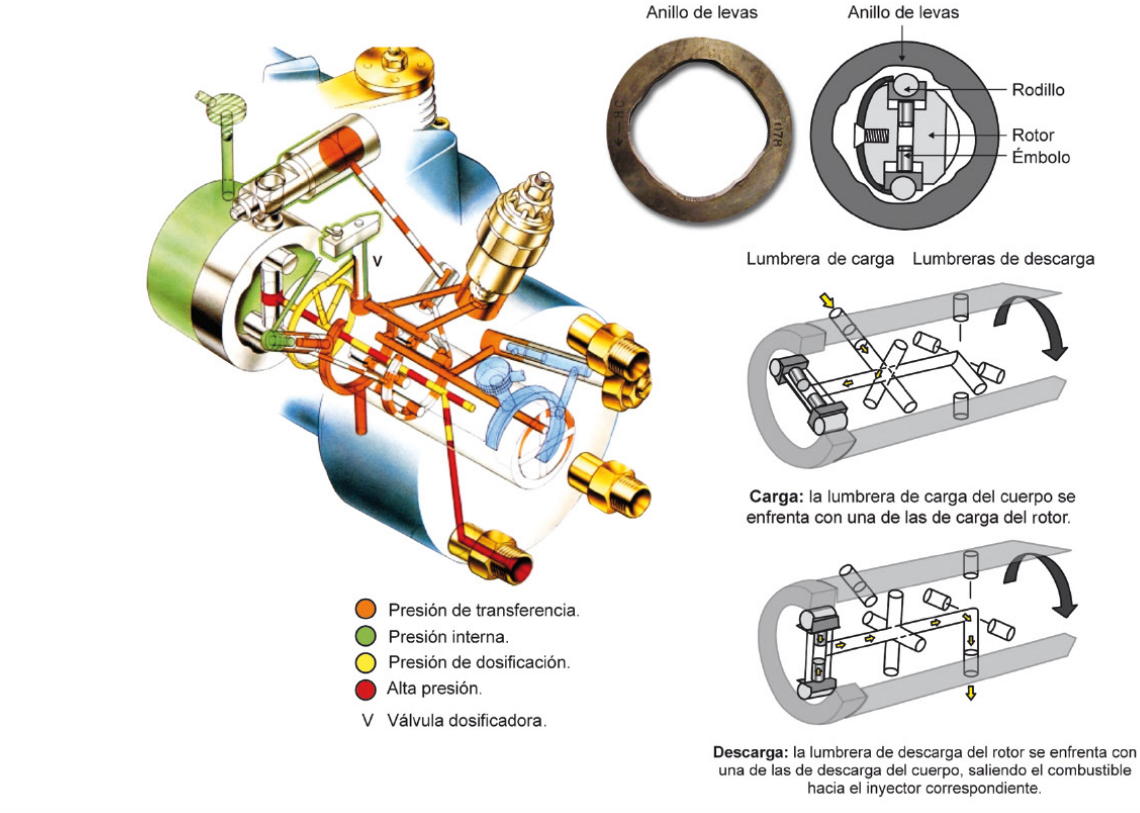


Figura 11.89. *Funcionamiento del cabezal hidráulico.*

© Ediciones Paraninfo

inyectado, la válvula dosificadora se encarga de regular el volumen de combustible que entra en la cámara del elemento de bombeo durante el período de carga. Este volumen depende de la presión de dosificación y del tiempo que estén enfrentadas las lumbreras de carga, siendo esto función del régimen de giro. La válvula dosificadora depende de la posición del acelerador y del regulador centrífugo. El combustible llega a la entrada de la válvula a la presión de transferencia y sale de ella a la presión de dosificación, que depende de la posición que adopte su eje ranurado, que controla la sección de paso.

El caudal máximo que los émbolos pueden suministrar a alta presión puede regularse. Para ello, como indica la Figura 11.90, hay que actuar sobre el tornillo autoblocante de la placa de regulación. El tope exterior en sentido radial de las zapatas portarrodillos está limitado por la placa de regulación, por lo que a su vez está limitada la máxima separación de los émbolos y, consecuentemente, el volumen de carga. A medida que se afloja el tornillo de la placa de regulación, las zapatas se aproximan hacia el interior del rotor, limitando el volumen de carga. Si por el contrario se aprieta el tornillo, las zapatas se alejan del centro, permitiendo un mayor volumen de carga.

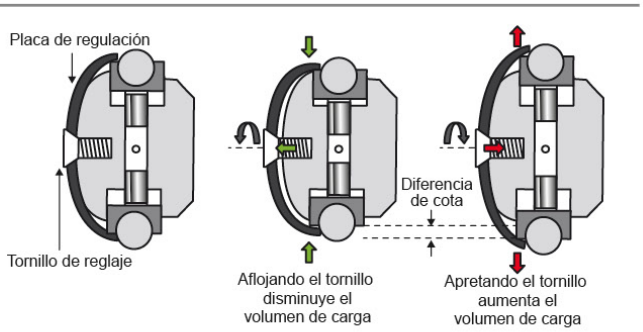


Figura 11.90. *Reglaje del caudal máximo suministrado por los émbolos.*

- **Regulador centrífugo:** al igual que en las bombas rotativas de émbolo axial, el regulador centrífugo se encarga de hacer un ajuste preciso del caudal inyectado, actuando sobre la válvula dosificadora. Como muestra la Figura 11.91, las masas centrífugas se montan sobre el árbol de

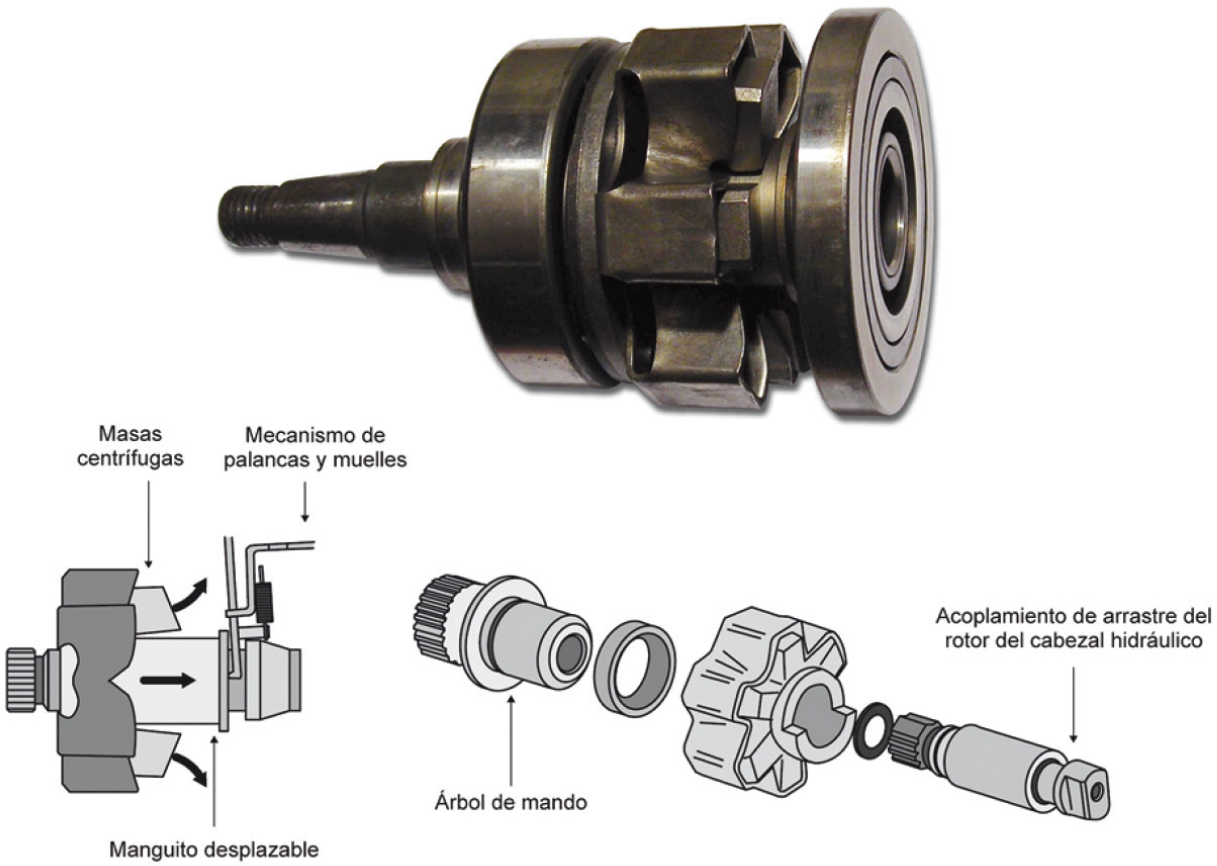


Figura 11.91. *Regulador centrífugo de una bomba rotativa de émbolos radiales.*

© Ediciones Paraninfo

mando, y, en función del régimen de giro, actúan sobre un manguito desplazable. A su vez, este manguito, mueve una palanca de control que está unida mediante un sistema de palancas y muelles al mando del acelerador y a la válvula dosificadora.

Como en el resto de bombas de inyección diésel, se distinguen dos tipos de reguladores, el de todas las velocidades y el de mínimo y máximo.

– **Regulador de todas las velocidades:** la constitución y funcionamiento de este tipo de regulador aparece reflejada en la Figura 11.92. Cuando se sitúa la palanca de mando del acelerador en una determinada posición, el muelle regulador tira de la palanca de control, que a su vez actúa sobre la válvula dosificadora comprimiendo el muelle de la bieleta que las une. En estas circunstancias, la válvula dosificadora se mueve a una posición de caudal apropiado para ese nivel de carga. Si se mantiene la misma posición del acelerador y aumenta el régimen de giro, las masas centrífugas mueven el manguito desplazable, haciendo pivotar la palanca de control en sentido contrario, venciendo la fuerza del muelle regulador y tirando de la bieleta que se une a la válvula dosificadora, esta vez sin la acción de su muelle. Con esto se consigue llevar la válvula dosificadora hacia una posición de menor caudal, limitando el régimen de giro para un nivel de carga dado. De esta forma, se regula el caudal para cualquier régimen de giro del motor. La palanca de paro manual sirve para parar el motor, moviendo directamente la válvula dosificadora hacia caudal nulo, independientemente de la posición del regulador.

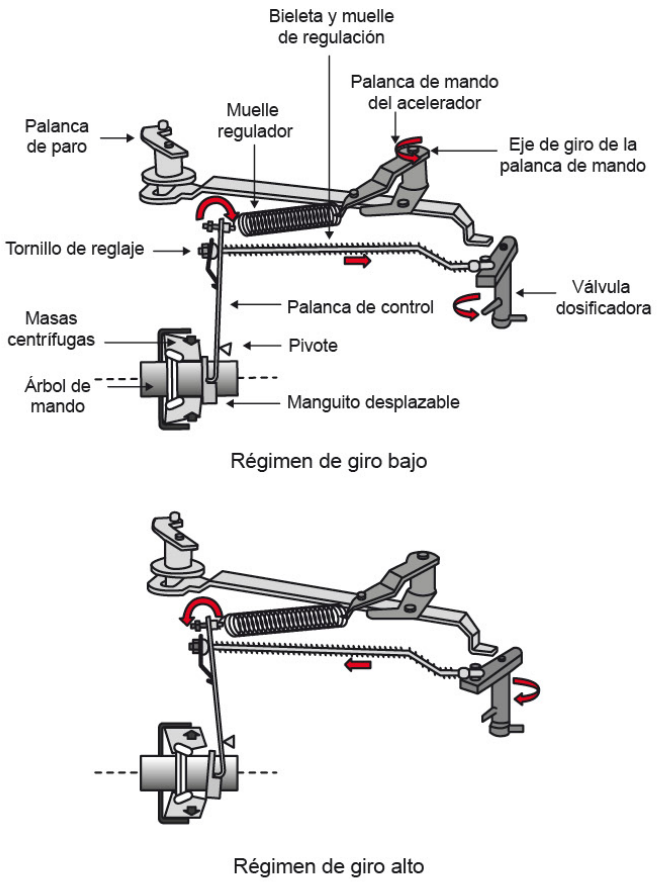


Figura 11.92. *Constitución y funcionamiento del regulador de todas las velocidades de una bomba rotativa de émbolos radiales.*

Recuerda que...

El regulador de todas las velocidades se utiliza más en maquinaria de obras públicas, maquinaria agrícola y vehículos industriales.

– **Regulador de mínimo y máximo:** los elementos de este tipo de regulador pueden verse en la Figura 11.93. En este caso, el muelle regulador se encuentra en el interior de un cilindro deslizante al que se conecta, por un lado, la palanca de mando del acelerador, y por otro, la palanca de control. De esta forma, al accionar el acelerador, se actúa sobre la válvula dosificadora, moviéndose el conjunto rígidamente y no existiendo regulación en este transitorio. La regulación se lleva a cabo cuando se alcanza el régimen máximo de giro, momento en el cual las masas centrífugas mueven el manguito desplazable y pueden vencer la fuerza del muelle regulador, disminuyendo el caudal inyectado.

Recuerda que...

El regulador de tipo mínimo y máximo es el que más se utiliza en vehículos de turismo, al proporcionar una mayor rapidez de respuesta al motor.

El funcionamiento del regulador de todas las velocidades y el de mínimo y máximo es muy similar al de las bombas rotativas de émbolo axial.

- **Variador de avance:** este dispositivo regula el inicio de la inyección en cualquier condición de funcionamiento del motor, actuando sobre la posición angular del anillo de levas. Con el motor parado no hay presión de transferencia, por lo que la cámara de combustible del variador se encuentra sin presión. Por este motivo, la única fuerza que actúa es la de los muelles, que desplazan la rótula del anillo de levas hacia la posición de máximo retardo,

© Ediciones Paraninfo

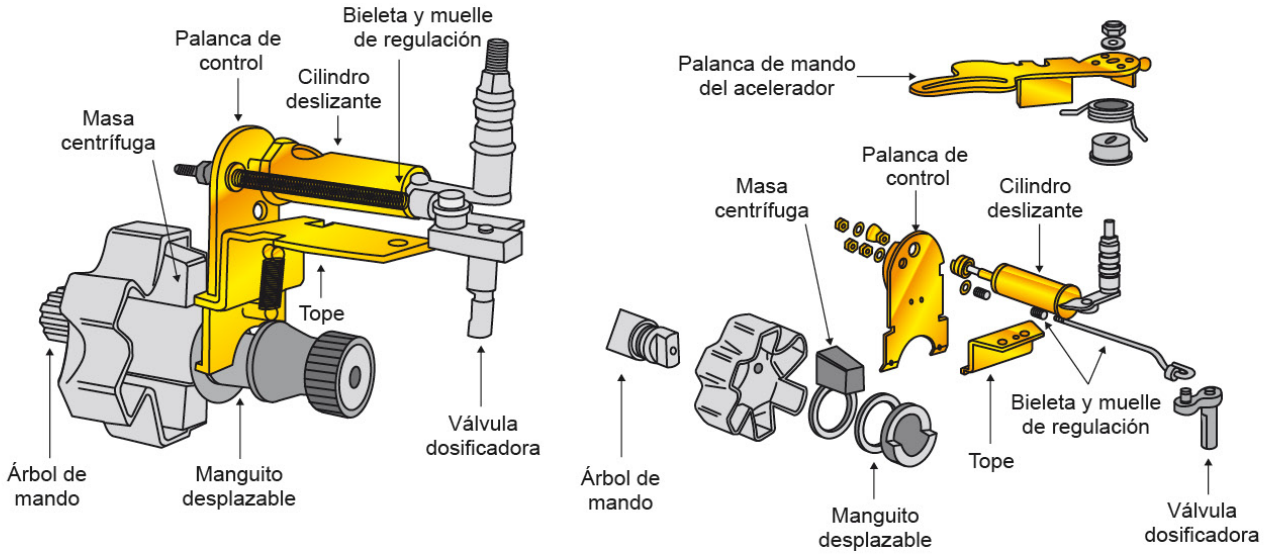


Figura 11.93. *Elementos del regulador de mínimo y máximo de una bomba rotativa de émbolos radiales.*

óptima para el arranque. Cuando el motor está en funcionamiento, hay presión de transferencia, que se aplica en la cámara de combustible sobre el émbolo del variador. Cuando el régimen de giro del motor es bajo, la presión de transferencia no es muy alta, pero suficiente para comprimir el muelle de poca rigidez contra su tope, desplazando ligeramente el anillo de rodillos en sentido de avance, aunque el avance total es prácticamente inexistente. A medida que aumenta el régimen de giro, también lo hace la presión de transferencia, venciendo la fuerza del muelle de mayor rigidez e incrementándose el avance de inyección, de forma proporcional a la presión de transferencia. La constitución y funcionamiento del variador de avance está detallada en la Figura 11.94.

- **Dispositivo de sobrecarga en el arranque:** este sistema se encarga de aumentar el caudal inyectado en la fase de arranque, incrementando el volumen de carga del elemento de bombeo, separando los émbolos. Sus elementos principales y funcionamiento se explican a través de la Figura 11.95. Las zapatas portarrodillos incorporan un almenado en uno de sus lados, que encaja con el practicado en la placa de regulación. Cuando los almenados de ambas piezas encajan, se permite una mayor carrera de los émbolos del elemento de bombeo, aumentando el volumen de carga y, por tanto, el caudal inyectado. Cuando, por el contrario, los almenados están enfrentados, la carrera de los émbolos es menor y el caudal disminuye. La conmutación de un modo a otro

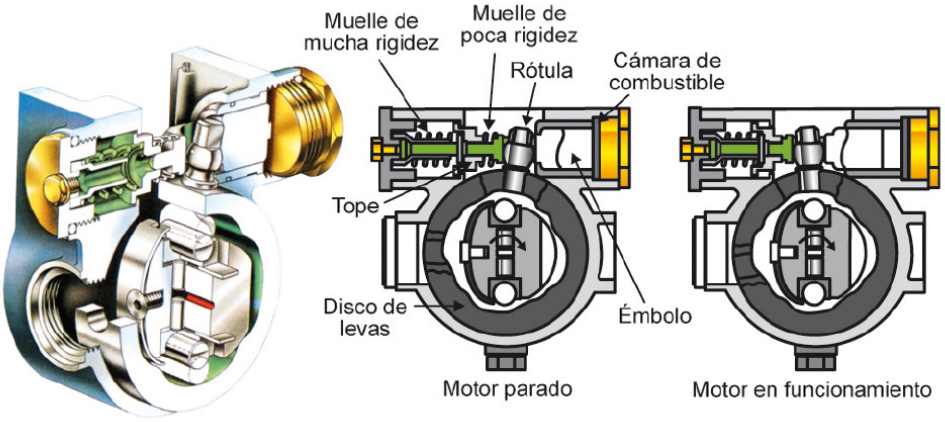


Figura 11.94. *Constitución y funcionamiento del variador de avance de una bomba rotativa de émbolos radiales.*

© Ediciones Paraninfo

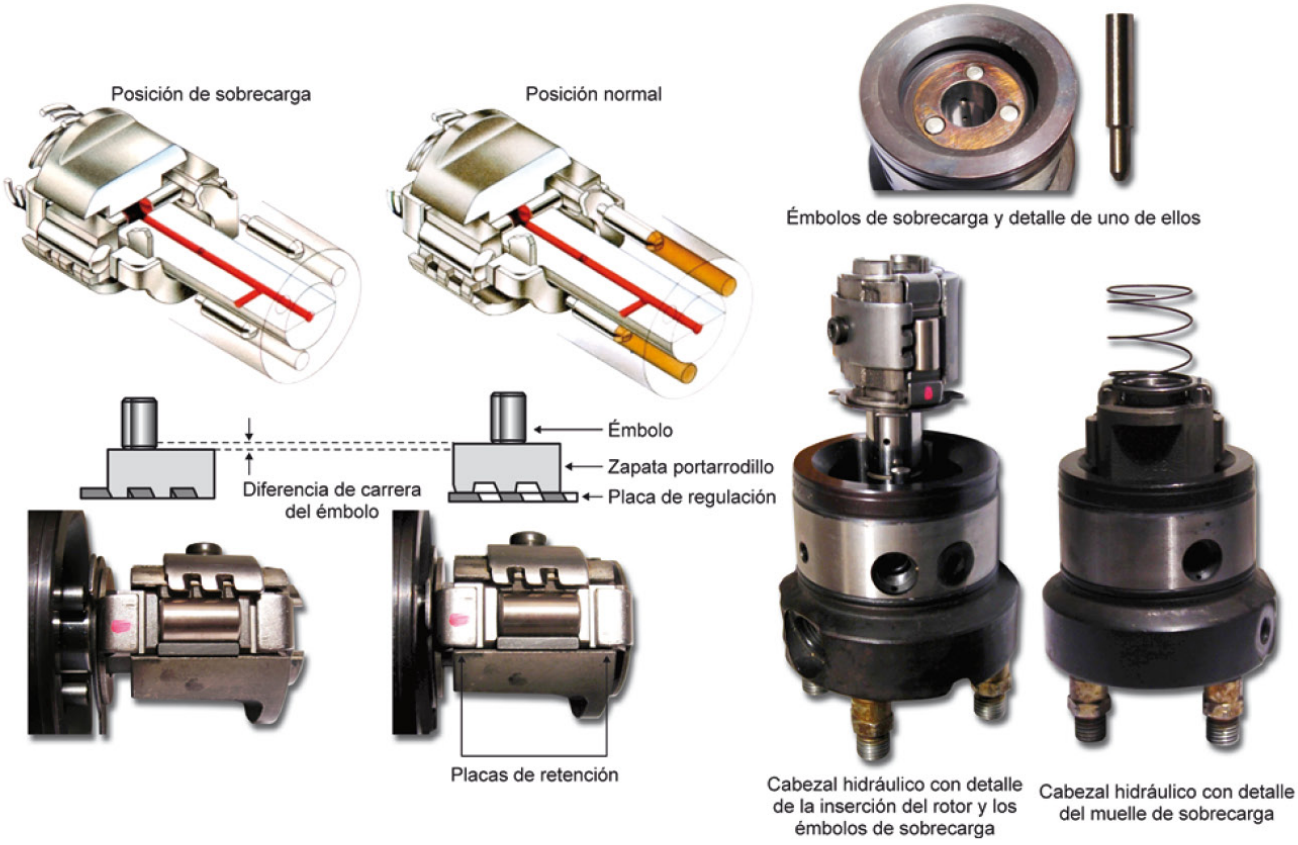


Figura 11.95. *Dispositivo de sobrecarga en el arranque.*

se realiza desplazando axialmente las zapatas con respecto a la placa de regulación, que permanece fija con el rotor. Las zapatas van montadas en el carro de sobrecarga. Se disponen dos carros de sobrecarga y cada uno de ellos incorpora una zapata portarrodillos, un rodillo, dos topes de zapata y una placa distanciadora. Ambos carros permanecen sujetos al rotor mediante dos placas de retención, una delante y otra detrás. La posición de los carros para enfrentar o no los almenados depende de dos fuerzas contrapuestas, la del muelle de sobrecarga y la de los émbolos de sobrecarga empujados por la presión de transferencia. Cuando el motor está parado o a un régimen inferior al de ralentí, no hay presión de transferencia o es tan pequeña que el muelle de sobrecarga empuja a los carros para que los almenados encajen y aumente el caudal en la fase de arranque. Cuando el motor ya ha arrancado, en el momento en el que hay presión de transferencia, esta empuja los émbolos de sobrecarga y a su vez los carros, comprimiendo el muelle de sobrecarga y enfrentando los almenados. Consecuentemente, la carrera de los émbolos del elemento de bombeo es menor, disminuyendo el volumen de carga y el caudal inyectado.

Una válvula de presión diferencial es la encargada de permitir el paso de combustible a la presión de transferencia hacia los émbolos de sobrecarga y hacia el variador de avance. Mientras no se alcance un determinado valor de presión de transferencia, la válvula permanece cerrada. A través de un tornillo de reglaje se puede regular la presión de transferencia a la cual la válvula abre y deja pasar el combustible a estos dos dispositivos.

- **Dispositivo de avance con carga parcial:** este sistema regula el avance de la inyección en condiciones de carga parcial y regímenes de giro del motor medios. Consiste en una válvula instalada en el cabezal hidráulico que es accionada por la palanca de mando del acelerador a través de otra palanca y una rótula, como muestra la Figura 11.96. Cuando el motor funciona al ralentí o con carga parcial, la válvula del dispositivo de sobrecarga permite el paso de combustible a la presión de transferencia hacia los émbolos de sobrecarga y hacia el variador de avance. En estas circunstancias, la válvula de avance con carga parcial, activada con el acelerador, es la que permite el paso de combustible hacia la cámara del variador

© Ediciones Paraninfo

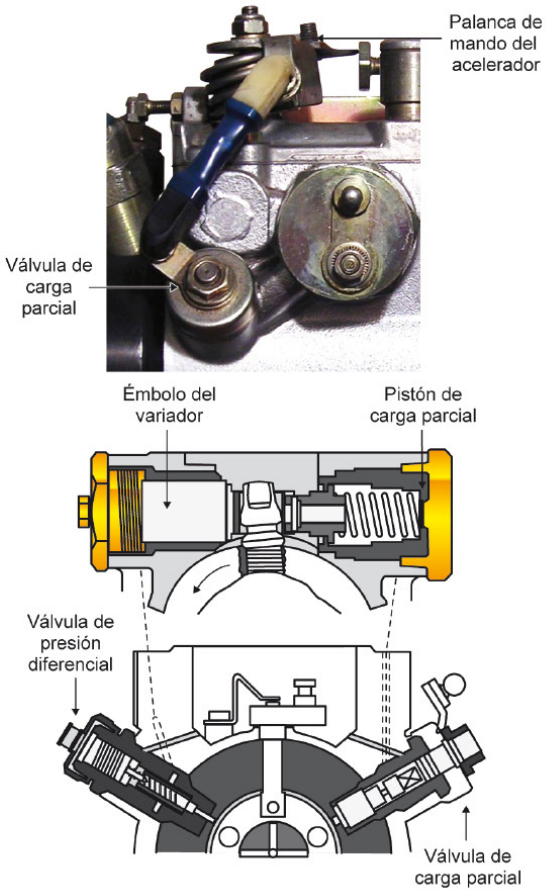


Figura 11.96. *Dispositivo de avance con carga parcial.*

de avance, desplazando su émbolo y adelantando convenientemente la inyección. Si se sigue girando la palanca de mando del acelerador, la válvula de carga ligera se sitúa en una posición tal que interrumpe la comunicación de la cámara del variador con la presión de transferencia, aplicándose ahora esta sobre el pistón de carga parcial situado en el variador de avance, que desplaza el anillo de levas en sentido de retardo, situándolo en avance nulo. A partir de ese momento, el variador de avance hace su regulación en función del régimen de giro.

En algunos modelos, la válvula del dispositivo de avance con carga parcial es de accionamiento electromagnético.

Sabías que...

El dispositivo de avance con carga parcial también se conoce como dispositivo de avance con carga ligera.

- **Dispositivo de sobreavance en frío:** consiste en un mecanismo capaz de adelantar la inyección para la fase de calentamiento del motor, consiguiendo un ralentí estable y una reducción de emisiones de humos. El dispositivo puede ser de accionamiento mecánico o electromagnético. Una solución de accionamiento mecánico es la que aparece en la Figura 11.97, donde se monta un conjunto especial que actúa sobre el pistón de carga parcial, que incorpora un tetón en el centro. Cuando el motor está frío, se mueve la palanca de ralentí, que mediante la bieleta gira la palanca y mueve la leva a una determinada posición. En esa posición el tetón del pistón de carga parcial se introduce en el interior del agujero de la leva. Así, el pistón se desplaza en sentido de avance. Cuando el motor ha alcanzado una temperatura a la que ya no es necesario un ralentí acelerado, el tetón del pistón ya no está en el agujero de la leva, anulándose el sobreavance.

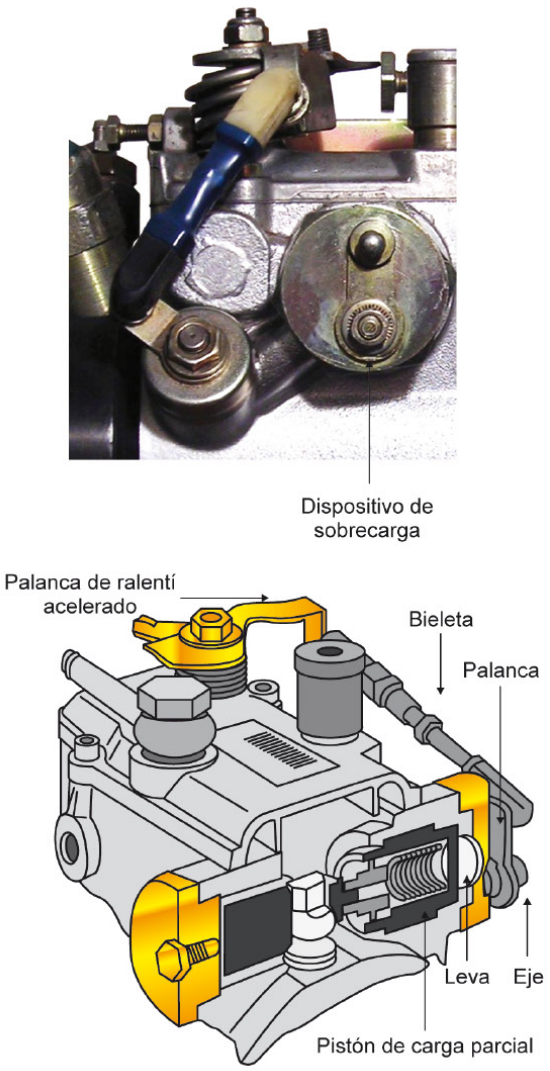


Figura 11.97. *Dispositivo de sobreavance de accionamiento mecánico.*

© Ediciones Paraninfo

- **Dispositivo corrector de sobrealimentación:** este elemento, al igual que en las bombas rotativas de émbolo axial, se encarga de regular el caudal inyectado en función de la presión de soplado, si el motor es sobrealimentado. Hidráulicamente, se instala entre la válvula de presión diferencial y el dispositivo de sobrecarga en el arranque. En este último, las zapatas portarrodillos y la placa de regulación no llevan un almenado sino una rampa, con el fin de proporcionar una regulación continua.
- **Tornillo de tope anticalado:** este tope se instala para evitar el calado del motor en caso de una deceleración brusca. Esto podría producirse en motores de vehículos de turismo, que son rápidos y tienen un volante de inercia de poca masa. En ese transitorio de desaceleración, el muelle del regulador queda totalmente destarado y puede producirse un desequilibrio entre la fuerza centrífuga de las masas del regulador y el muelle del mismo, situando la válvula dosificadora en una posición de caudal inferior al mínimo. Con este dispositivo, al disminuir el régimen de giro, se reestablece el caudal necesario para evitar el calado del motor. El tornillo anticalado y su resorte, mostrados en la Figura 11.98, empujan el brazo del regulador hacia la posición de ralentí cuando desciende el régimen de giro rápidamente.

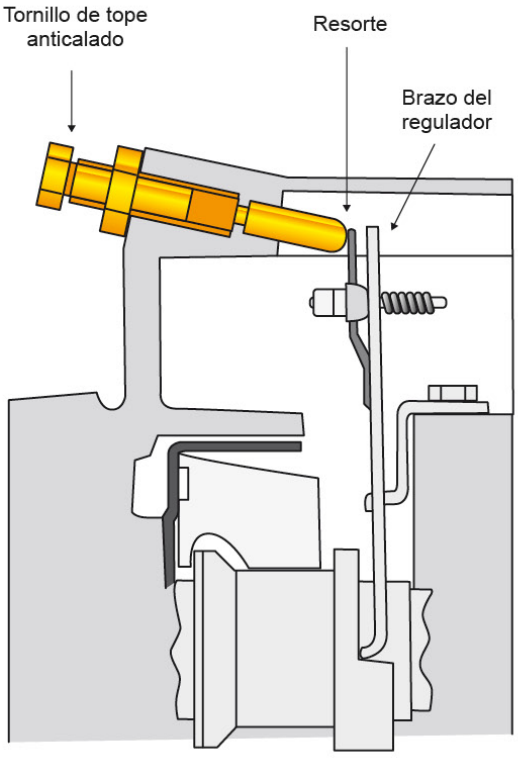


Figura 11.98. *Tornillo de tope anticalado.*

Sabías que...

El reglaje del tornillo anticalado debe llevarse a cabo con el motor caliente.

Los dispositivos correctores que incorpora la bomba de inyección dependen del tipo de motor, pudiendo variar en cuanto a número y características de unos a otros.

11.4.2. Evoluciones y otros sistemas

Las bombas rotativas de émbolos radiales evolucionaron incorporando a las mismas dispositivos electrónicos que perfeccionan su funcionamiento. Una evolución es la bomba de tipo DPCN, donde la N significa numérica. Su principio de funcionamiento es gestionar el avance de la inyección de forma muy precisa. Para conseguir esto, se incorpora un corrector de avance en la bomba, controlado por un calculador electrónico. Por otro lado, la regulación del caudal sigue siendo mecánica. El control del avance de inyección se realiza desplazando el anillo de levas por efecto de la presión hidráulica. El calculador determina la posición del anillo de levas y su desplazamiento está regulado por el corrector de avance. El sistema de regulación cierra su bucle a través del sensor de carrera de la aguja del inyector, por lo que el calculador puede comparar el avance teórico con el real y así ajustar el momento exacto del inicio de la inyección. El control del avance de la inyección depende de los siguientes parámetros:

- Caudal de combustible.
- Carga del motor.
- Régimen de giro.
- Altitud.
- Temperatura del líquido refrigerante.
- Temperatura del aire.

Este tipo de bombas ya no incorporan el dispositivo de avance con carga parcial ni la válvula de sobrecarga.

Si el vehículo es sobrealimentado, incorpora un corrector de sobrealimentación. Al poner en marcha el motor, se aplica la presión de transferencia a los émbolos de sobrecarga, empujando el carro de sobrecarga. En ese momento, la carrera de los émbolos disminuye, ya que la corredera de regulación cierra el orificio de descarga hacia el retorno de la bomba. En la fase de sobrealimentación, la presión de soplado se aplica sobre las membranas del corrector de sobrealimentación, haciendo que la corredera de regulación

© Ediciones Paraninfo

se desplace progresivamente hasta descubrir el otro orificio de retorno. En estas circunstancias, disminuye la presión de transferencia aplicada cobre los émbolos de sobrecarga. Gracias al muelle de sobrecarga, el carro se desplaza por las rampas practicadas en las zapatas y en la placa de regulación, aumentando la carrera de los émbolos y con ella el caudal inyectado.

El tarado del corrector de sobrealimentación se puede variar actuando sobre su tornillo de regulación.

La Figura 11.99 muestra los elementos principales, el sistema de regulación electrónico y el corrector de sobrealimentación de una bomba Lucas DPCN.

Al igual que las bombas rotativas de émbolo axial, las de émbolos radiales evolucionaron hacia la regulación electrónica. A continuación se van a explicar los aspectos más importantes del sistema Lucas EPIC, con control electrónico, donde se han eliminado los dispositivos de regulación mecánica.

Sabías que...

Las siglas EPIC significan control de inyección programado electrónicamente (*Electronically Programmed Injection Control*).

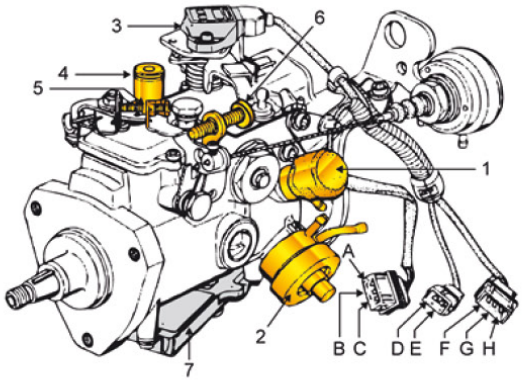
Los elementos más importantes de la bomba con control electrónico pueden verse en la Figura 11.100.

Las bombas rotativas de émbolos radiales con control electrónico pueden aplicarse a sistemas de inyección indirecta y de inyección directa.

El conjunto de electroválvulas de avance y de más caudal es inseparable y se instala en la parte superior de la bomba, como indica la Figura 11.101. El conjunto de electroválvulas de paro y de menos caudal también es inseparable y se monta en la parte trasera de la bomba.

La unidad de control calcula el caudal y avance, actuando posteriormente sobre las electroválvulas. Además gestiona el sistema de recirculación de gases de escape (EGR). La forma de generar la alta presión de inyección es similar a la de las bombas DPC. La unidad de control está monitorizando constantemente el sistema a través de las señales que le llegan de todos los sensores. Estas señales son comparadas con el mapa cartográfico programado en la unidad de control y, en función de este, pilota las electroválvulas. El sistema se retroalimenta constantemente de forma que compara los valores teóricos con los reales, realizando los ajustes pertinentes.

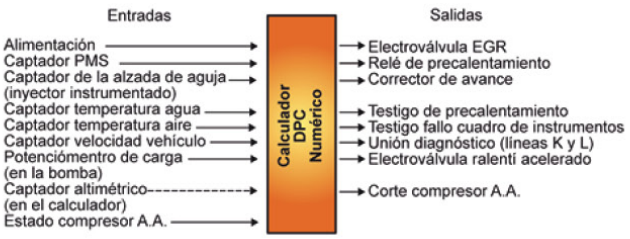
Elementos principales de la bomba Lucas DPCN



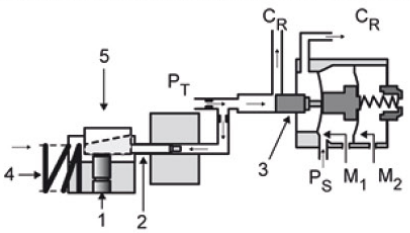
1. Corrector de avance de inyección.
2. Corrector de sobrealimentación.
3. Potenciómetro de carga.
4. Tapón de acceso para el calado.
5. Tornillo de reglaje de ralentí.
6. Tornillo de reglaje anticalado.
7. Módulo electrónico de la electroválvula codificada.

A. Masa.
B. Positivo después de contacto.
C. Línea codificada.
D. Señal de mando del corrector de avance.
E. Positivo después de contacto.
F. Masa.
G. Señal del potenciómetro de carga.
H. Alimentación del potenciómetro de carga (5 V).

Sistema de regulación electrónica de la bomba Lucas DPCN



Corrector de sobrealimentación de la bomba Lucas DPCN

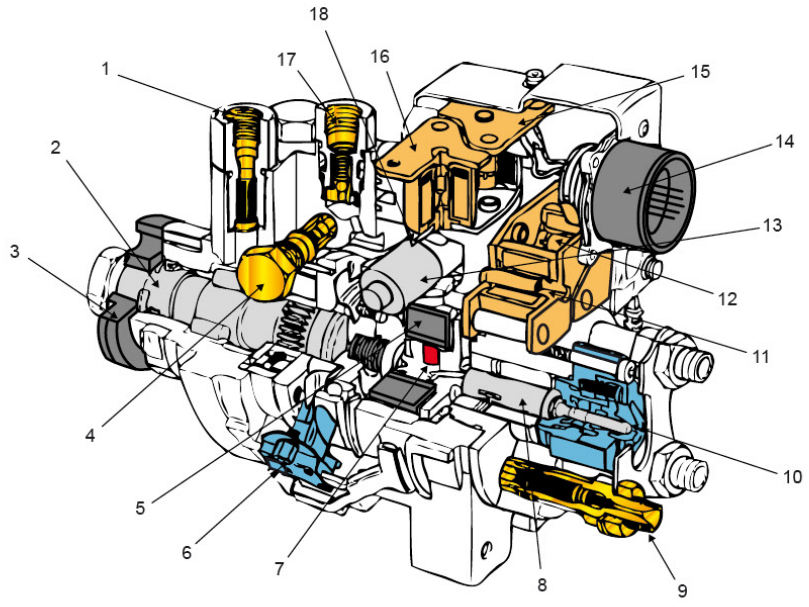


1. Émbolo de alta presión.
2. Émbolo de sobrecarga.
3. Corredera de regulación.
4. Muelle de sobrecarga.
5. Zapata y placa de regulación con rampa.

P_T Presión de transferencia.
P_S Presión de sobrealimentación.
C_R Caudal de retorno.
M_1 y M_2 Membranas del corrector.

Figura 11.99. *Elementos principales, sistema de regulación electrónico y corrector de sobrealimentación de una bomba Lucas DPCN.*

© Ediciones Paraninfo



1. Entrada de combustible.
2. Árbol de mando.
3. Brida para la polea de accionamiento
4. Válvula reguladora de presión de transferencia.
5. Zapata portarrodillos.
6. Sensor Hall.
7. Émbolo de alta presión.
8. Rotor.
9. Válvula de suministro.
10. Sensor de posición del rotor.
11. Electroválvula de paro.
12. Electroválvula reguladora de menos caudal.
13. Émbolo del variador de avance.
14. Conexión eléctrica.
15. Electroválvula reguladora de más caudal.
16. Electroválvula reguladora de avance.
17. Válvula de mantenimiento de presión.
18. Sensor de posición del anillo de levas y de temperatura del combustible (no representado).

Figura 11.100. *Elementos de la bomba Lucas EPIC.*

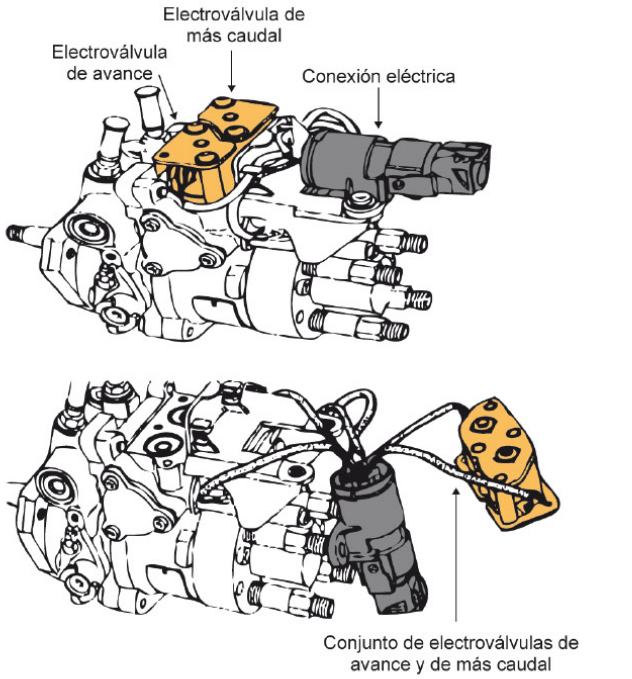


Figura 11.101. *Conjunto inseparable de electroválvulas de avance y de más caudal.*

El desmontaje y montaje de los sensores de posición de avance y caudal debe realizarse en un banco de ensayos de bombas de inyección, ya que es necesario que la unidad de control memorice sus posiciones.

El árbol de mando de la bomba se monta sobre dos rodamientos, entre los cuales se instala la bomba de transferencia, a diferencia de las bombas DPC. El extremo interior del eje está ranurado y tiene una sección cónica para introducir el rotor distribuidor, con los émbolos de alta presión, las zapatas portarrodillos y los rodillos, como aparece en la Figura 11.102. Las zapatas portarrodillos tienen fresadas lateralmente unas rampas que apoyan contra las superficies guía de la sección cónica del árbol de mando. La altura de las zapatas, y con ella la carrera de los émbolos de alta presión, varía por el movimiento axial del rotor y el contacto de las rampas.

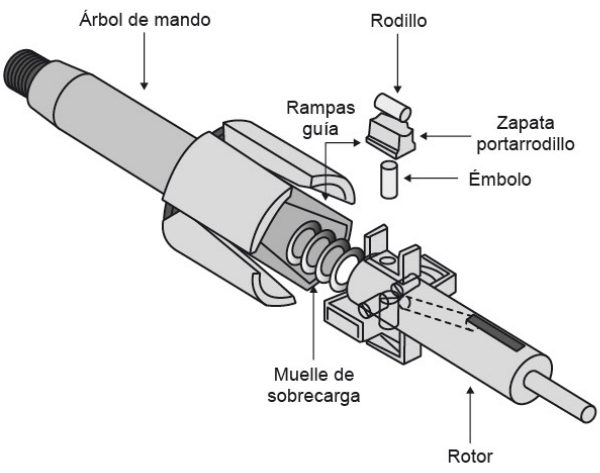
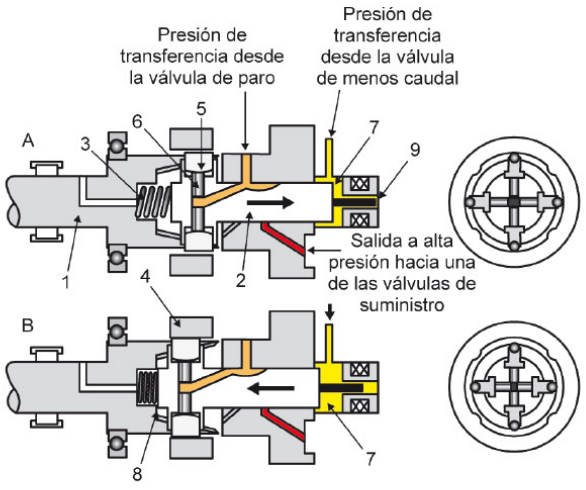


Figura 11.102. *Detalle del árbol de mando y del rotor de una bomba Lucas EPIC.*

© Ediciones Paraninfo

En algunas bombas, se montan cuatro émbolos radiales de alta presión en lugar de dos. Esto permite disponer de una alta presión a la salida de la bomba, pudiendo superar los 750 bar, necesaria para motores de inyección directa.

El combustible se dosifica con el ajuste radial de las zapatas portarrodillos con la rampa practicada en el árbol de mando, que modifica el volumen de carga de los émbolos de alta presión. Esto se consigue con el desplazamiento axial del rotor, por medio de la presión de transferencia. Cuando el motor está parado, el muelle de sobrecarga obliga al rotor a situarse en la posición inicial, maximizando el llenado de los émbolos durante la fase de arranque. A la velocidad de arranque, se genera la presión de transferencia y el módulo electrónico activa las válvulas electromagnéticas de más y de menos caudal, mediante una señal de mando de tipo PWM. La válvula de menos caudal llena de combustible la cámara del rotor y la presión hace que se venza la fuerza del muelle de sobrecarga, deslizándose las zapatas por las rampas y reduciéndose el caudal inyectado. Este proceso se resume en la Figura 11.103.

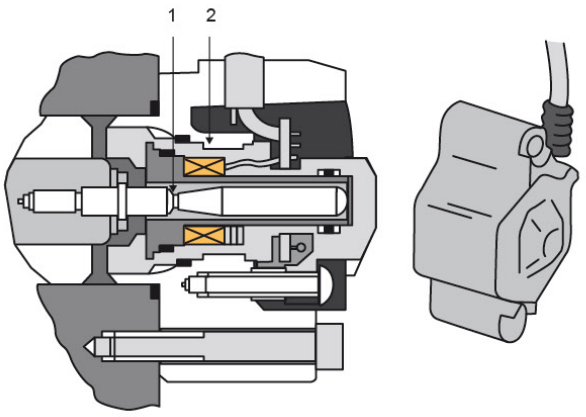


A. Posición de caudal de arranque y plena carga.
B. Posición de caudal nulo.

1. Árbol de mando.
2. Rotor distribuidor.
3. Muelle de sobrecarga.
4. Anillo de levas.
5. Zapatas portarrodillos.
6. Émbolos de alta presión.
7. Cámara del rotor.
8. Tope de caudal nulo.
9. Tope de caudal de plena carga.

Figura 11.103. *Posición de caudal máximo y de caudal nulo de una bomba Lucas EPIC.*

El módulo electrónico utiliza un sensor inductivo para conocer la posición precisa del rotor. La señal emitida por el sensor se compara con los valores teóricos calculados por el módulo. De esta forma se ajusta el caudal de combustible inyectado continuamente, al actuar sobre las electroválvulas de más y de menos caudal. Esto permite, por ejemplo, mantener una velocidad de ralentí estable. El sensor de posición del rotor se explica observando la Figura 11.104. Consiste en un generador inductivo con una armadura de hierro dulce de forma cónica, atornillada al centro del rotor, que se desplaza por el interior de una bobina sujeta a la carcasa. Con el movimiento de la armadura, se genera una señal reconocible por el módulo electrónico, que le informa de su posición. El sensor incorpora una resistencia NTC para compensar el valor de la señal en función de la temperatura.



1. Armadura de hierro.
2. Bobina.

Figura 11.104. *Sensor de posición del rotor.*

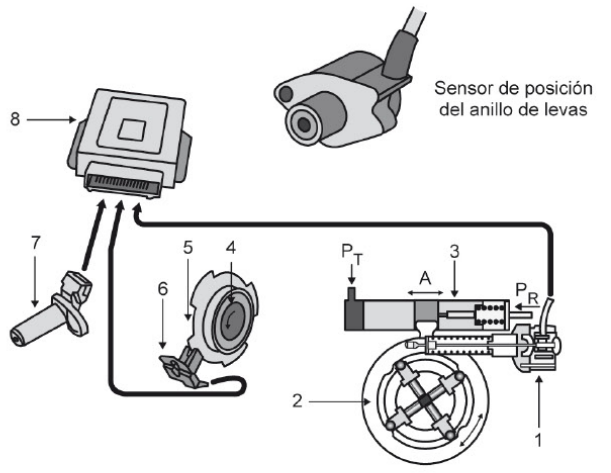
La posición axial del rotor solo se puede variar entre ciclos de inyección, coincidiendo con el momento en que los rodillos no están bajo carga.

Sabías que...

La instalación del sensor de posición del rotor es muy delicada y se hace durante el ensamblado de la bomba. El ajuste fino del sensor se hace con una resistencia de calibración. El módulo electrónico corrige la señal del sensor con el valor de la caída de tensión de la resistencia de calibración, asociando este valor a una tabla de corrección programada.

El inicio de la inyección queda determinado por la posición del émbolo del mecanismo de avance. Para poder ajustar el avance de la inyección, la unidad de control o módulo electrónico necesita saber ciertos parámetros, que registra por medio de diversos sensores, como muestra la Figura 11.105. Un sensor inductivo informa sobre

© Ediciones Paraninfo



1. Sensor de posición del anillo de levas.
2. Anillo de levas.
3. Émbolo del variador de avance.
4. Disco con cuatro segmentos.
5. Segmento de posición más corto.
6. Sensor Hall.
7. Sensor del cigüeñal.
8. Unidad de control.

A. Movimiento de avance.
P_T. Presión de transferencia.
P_R. Presión de regulación.

Figura 11.105. *Sensores necesarios para ajustar el avance de la inyección.*

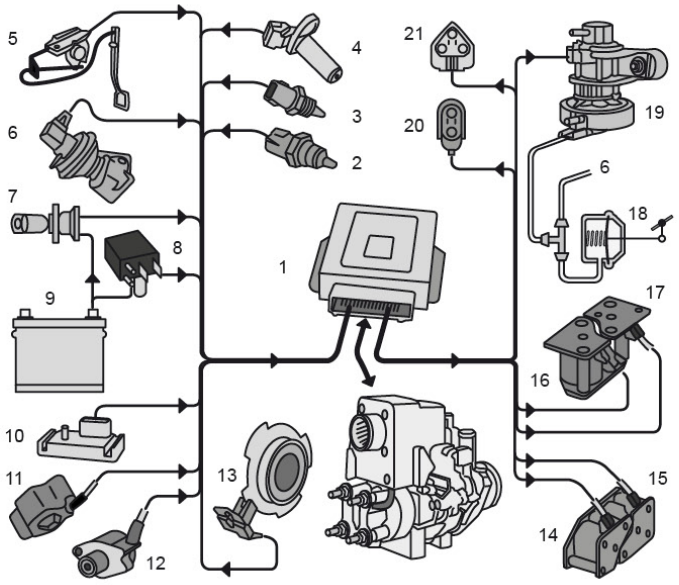
la posición del anillo de levas. Este sensor lleva integrado otro que mide la temperatura del combustible y una resistencia NTC adicional de compensación de temperatura. Para sincronizar las órdenes de mando, es necesario conocer la posición del pistón del cilindro 1 del motor, con un sensor montado en el cigüeñal o en el árbol de levas. La bomba incorpora un sensor de efecto Hall que mide el régimen de giro y la posición de la misma. El avance de inyección se varía hidráulicamente con el mecanismo de avance, donde su émbolo está sometido, por un lado a la presión de transferencia, y por el otro, a la fuerza de un muelle de compresión y a la presión reguladora. La presión reguladora se genera a partir de la de transferencia, modificada por la electroválvula de avance, comandada por la unidad de control mediante una señal de impulsos conectados a masa. La electroválvula de avance controla el paso de combustible a la cámara del variador donde se encuentra el muelle. La diferencia de presiones a ambos lados del émbolo del variador hace posible el ajuste del avance de inyección, fijándose este cuando las fuerzas aplicadas se encuentren en equilibrio.

Mediante válvulas de retención y orificios de reducción, se evita un avance de inyección descontrolado por fluctuaciones de la presión de combustible.

Recuerda que...

La información de temperatura de combustible es necesaria para ajustar el caudal de combustible inyectado.

La Figura 11.106 muestra los elementos fundamentales del sistema de inyección con bomba rotativa de émbolos radiales Lucas EPIC. Como puede apreciarse, muchos dispositivos son similares a los estudiados en las bombas rotativas de émbolo axial con regulación electrónica EDC.



1. Unidad de control.
2. Sensor de temperatura del aire aspirado.
3. Sensor de temperatura del líquido refrigerante.
4. Sensor de régimen de giro y posición del cigüeñal.
5. Sensor de posición del pedal del acelerador e interruptor de ralentí.
6. Sensor de la válvula EGR.
7. Llave de contacto.
8. Relé.
9. Batería.
10. Sensor MAP.
11. Sensor de posición del rotor.
12. Sensor de posición del anillo de levas y de temperatura del combustible.
13. Sensor de régimen de giro y posición de la bomba.
14. Electroválvula de paro.
15. Electroválvula de menos caudal.
16. Electroválvula de avance.
17. Electroválvula de más caudal.
18. Cápsula de vacío con mariposa.
19. Transductor de vacío.
20. Conexión de diagnóstico.
21. Conexión de autodiagnóstico.

Figura 11.106. *Elementos fundamentales del sistema de inyección con bomba rotativa de émbolos radiales Lucas EPIC.*

© Ediciones Paraninfo

11.4.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones

El tipo de operaciones de mantenimiento y comprobaciones en las bombas rotativas de émbolos radiales son similares a las de émbolo axial.

> **Recuerda que...**
>
> Antes de proceder al desmontaje de la bomba, hay que preparar un espacio limpio, las herramientas adecuadas, los útiles específicos y disponer de un banco de pruebas, así como de un comprobador de inyectores.

A continuación se van a secuenciar las operaciones genéricas específicas de las bombas de inyección de émbolos radiales, basándose en una de la marca Lucas CAV de tipo DPC. Posteriormente se explicarán las operaciones características en los sistemas con regulación electrónica.

- **Operaciones sobre la bomba:**
  - **Desmontaje:** las operaciones de desmontaje, algunas mostradas en la Figura 11.107, se resumen a continuación:
    - » Quitar los precintos, palanca de mando del acelerador, bieletas, tornillos de tope, muelles y soporte de los cables.
    - » Desmontar la tapa del regulador, dejando el eje de mando del acelerador.
    - » Retirar el conjunto del muelle del regulador, la horquilla, desdoblar las patillas de la chapa de seguridad y sacar la válvula dosificadora.
    - » Quitar los tornillos del soporte de la palanca de control del regulador y extraerla.
    - » Aflojar la rótula del mecanismo de avance y desmontar dicho mecanismo.
    - » Aflojar los racores de salida hacia los inyectores y quitar la válvula de regulación de presión.
    - » Quitar los tornillos de la placa de extremo de la bomba de transferencia.
    - » Desmontar el resto de válvulas.
    - » Retirar el tornillo de sujeción del cabezal, centrando el taco de puesta a punto con la ventana de inspección.
    - » Extraer el cabezal y sacar el anillo de levas.
    - » Si no hay partículas metálicas o agua, no debe desmontarse el árbol de mando con el regulador centrífugo, aunque se puede medir con un comparador su juego axial y su juego radial, así como la profundidad del mismo desde el extremo de la carcasa de la bomba con un calibre. Si alguna medida no fuera

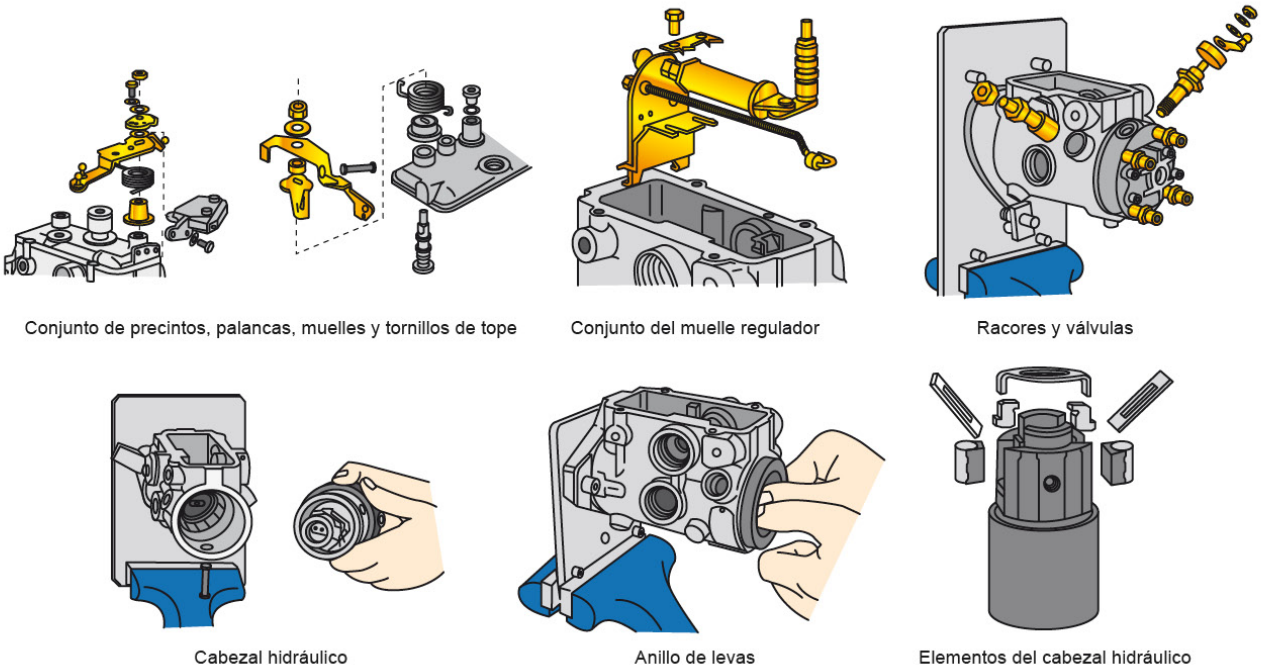


Figura 11.107. *Algunas operaciones de desmontaje de la bomba Lucas CAV de tipo DPC.*

© Ediciones Paraninfo

correcta, hay que desmontar el árbol de mando con el regulador centrífugo y cambiar los rodamientos.

» Desmontar los elementos del cabezal: racores, muelles, válvulas de suministro, bomba de transferencia y componentes del elemento de bombeo.

Cuando todos los elementos estén desmontados, se comprueba que las piezas no están desgastadas o dañadas y que los muelles no están excesivamente fatigados.

Recuerda que...

Antes de proceder al montaje hay que preparar un juego de juntas nuevo para sustituir todas las usadas.

– **Montaje:** el proceso básico de montaje de la bomba es el siguiente:

» Montar primero todos los elementos de cada dispositivo principal, como los del dispositivo de avance con carga parcial, el mecanismo de avance, la válvula de regulación de presión… instalando correctamente las juntas tóricas con los útiles específicos.

» Instalar el conjunto del regulador centrífugo, si fue necesario desmontarlo, poniendo un retén nuevo con el útil adecuado y verificando el giro del árbol de mando, que debe ser suave y uniforme.

» Montar todos los elementos del cabezal hidráulico, incluyendo la bomba de transferencia con su tapa.

» Instalar la válvula de regulación de presión con todos sus elementos.

» Colocar el anillo de levas teniendo en cuenta su orientación.

» Montar el mecanismo de avance y la rótula del anillo de levas, apretándola al par correspondiente con el útil específico.

» Introducir el cabezal hidráulico instalando previamente el muelle de sobrecarga con su diámetro más pequeño hacia el rodamiento.

» Instalar una junta nueva en el tornillo de sujeción del cabezal hidráulico y montar el resto de válvulas.

» Armar los elementos del mecanismo del regulador, comprobando la altura del resorte de ralentí. Al montar la bieleta que actúa sobre la válvula dosificadora, comprobar que esta se desplaza con suavidad.

» Ajustar la cota del regulador con un calibre y actuando sobre la tuerca de reglaje. Introducir el conjunto del muelle de máxima, apretando a fondo su tuerca.

» Montar el eje de ralentí y paro en la tapa del regulador. Posteriormente introducir el eje de mando del acelerador.

» Instalar el soporte de los cables, la placa tope de ralentí acelerado con su muelle de recuperación y el tornillo guía. Posteriormente montar las palancas.

– **Ajustes y pruebas en banco:** una vez que se ha montado la bomba, hay que probarla en un banco de pruebas y verificar, principalmente, lo siguiente:

» Presión interna y medida del sobrante.

» Avance de inyección.

» Presión de transferencia.

» Alimentación de la electroválvula de corte.

» Salida de alta presión.

Recuerda que...

Las operaciones y valores son orientativos, ya que en cada caso hay que acudir al manual de reparación del fabricante y seguir el procedimiento específico.

Lo primero que hay que hacer es calibrar el banco, realizando a continuación las siguientes operaciones:

» Preajuste de la presión de transferencia: para ello se hace girar la bomba a unas 1200 rpm y se actúa sobre el tornillo de reglaje de la válvula de regulación de presión de transferencia hasta alcanzar el valor prescrito.

» Preajuste de sobrecarga: para hacer este reglaje hay que parar el banco, poner el acelerador al mínimo y actuar sobre el tornillo de ajuste de la válvula de sobrecarga. Hay que apretar a fondo este tornillo, arrancar el banco al régimen indicado y aflojar el tornillo hasta que el sobrante llegue a la medida prescrita. Debe observarse una caída simultánea de la presión de transferencia. Después ajustar a cero el comprobador de avance, colocando previamente la palanca de la válvula de carga parcial hacia las salidas de alta presión.

© Ediciones Paraninfo

» Funcionamiento de la electroválvula de paro: esto se hace comprobando su alimentación.

» Vacío de la bomba de transferencia: esta prueba ha de hacerse con un vacuómetro, debe observarse un valor de depresión prescrito en un tiempo determinado.

» Presión interna y sobrante: debe comprobarse con un manómetro y comparar los resultados obtenidos con los del fabricante. Si no son correctos, puede que haya que sustituir la válvula de rebose.

» Caudal máximo: para ajustar el caudal, hay una tabla de corrección en función del diámetro del émbolo y de la diferencia de caudal a corregir. Para esos datos, la tabla ofrece un valor de giro del tornillo de la placa de regulación del cabezal hidráulico. Al tornillo se accede por el tapón de inspección, girando el árbol de mando hasta quedar enfrentado con él. Una vez hecho el reglaje se comprueba que esté correcto.

Un ejemplo de utilización de la tabla de corrección de caudal sería el siguiente: si se tiene un diámetro del émbolo de 6,5 mm y hay que corregir 3 mm^3/embolada, la tabla indica que hay que girar el tornillo 35° con un goniómetro.

» Ajuste de la válvula del dispositivo de avance con carga parcial: primero se sitúa la palanca de la válvula hacia la salida de alta presión y se coloca la palanca del acelerador en una posición determinada. Se arranca el banco y los valores de los caudales deben estar dentro de las especificaciones. Después se monta la bieleta que une la válvula con la palanca de mando del acelerador y se ajusta hasta obtener unos valores de avance adecuados.

» Ajuste del regulador: con la palanca de mando del acelerador al máximo se anota el caudal que entrega la bomba. Si no es correcto se ajusta el tornillo de tope de régimen máximo.

» Ajuste de arranque y velocidad mínima: para llevar a cabo esta comprobación hay que parar el banco y esperar a que la presión interna sea menor de 0,1 bar. Posteriormente se hace girar la bomba a velocidad de arranque y se comprueban los caudales. El ajuste de la velocidad mínima se hace por medio del tornillo de tope de ralentí.

» Otros dispositivos: habrá que comprobar si la bomba incorpora otros dispositivos, como por ejemplo el corrector de presión de sobrealimentación. También hay que tener en cuenta que el mecanismo de avance puede ser mecánico, hidráulico o electromagnético, siendo las operaciones de verificación distintas en cada caso.

– **Puesta a punto:** el proceso de calado en el motor de la bomba rotativa de émbolos radiales es muy parecido al que se sigue en las bombas rotativas de émbolo axial. La diferencia principal es la ubicación del reloj comparador. Según esto se distinguen dos tipos de puesta a punto, la lateral y la superior. La Figura 11.108 muestra la colocación del reloj comparador para estos dos tipos, así como el conjunto de útiles necesarios para llevar a cabo el proceso.

El calado de la bomba también puede hacerse con pistola estroboscópica, similar a la empleada para la comprobación del avance de encendido en los motores de gasolina, pero ahora, se instala un captador en la tubería del cilindro 1. La pistola ha de apuntar hacia las marcas de PMS y cuando el captador de la tubería detecte que se ha realizado la inyección, se produce un destello, momento en el cual se verifica la coincidencia de las marcas, fija y móvil, ajustando la posición de la bomba si es preciso. La pistola estroboscópica sirve también para comprobar el avance de la inyección.

- **Operaciones en los sistemas con regulación electrónica:** el tipo de comprobaciones a realizar en sistemas como el EPIC de Lucas, son muy similares a las que se llevan a cabo en las bombas rotativas de émbolo axial EDC. Esto se debe a que muchos sensores y actuadores son de constitución parecida y pueden verificarse con máquina de diagnosis. Si no se dispusiera de esta máquina, salvo excepciones, se puede utilizar un polímetro y un osciloscopio, siguiendo el manual del fabricante. En cualquier caso, a continuación se explican algunas peculiaridades de este sistema:

  – Desde que se activa el contacto hasta que se arranca el motor, el sistema efectúa los siguientes controles:

    » La posición de tope máximo del rotor distribuidor.

    » La posición de tope mínimo del émbolo de avance.

    » El funcionamiento de las electroválvulas de más caudal y de menos caudal.

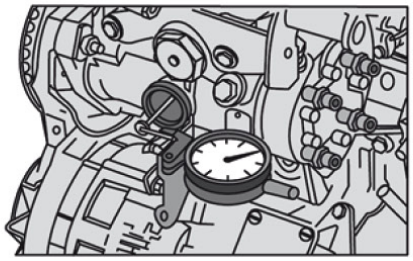
    » El funcionamiento de la electroválvula de avance.

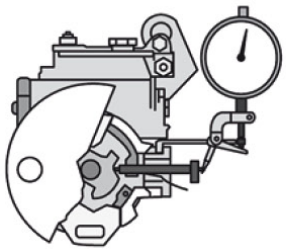
  – En la fase de arranque del motor, el rotor se sitúa en la posición prescrita y la electroválvula de paro es pilotada.

  – Durante la marcha normal del motor, el caudal inyectado es regulado por la unidad de control a través de las electroválvulas de más y de menos caudal.

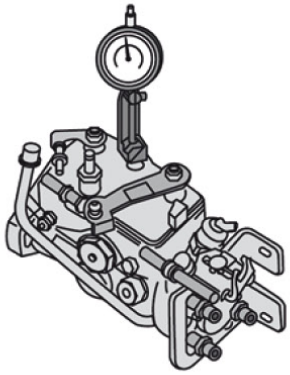
© Ediciones Paraninfo

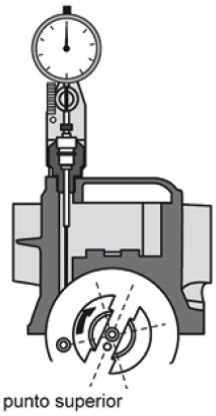
Conjunto de adaptadores, extensiones, soportes, sondas y comparador





Bomba Lucas CAV de tipo DPC con puesta a punto lateral





Bomba Lucas CAV de tipo DPC con puesta a punto superior

Figura 11.108. *Conjunto de útiles para realizar la puesta a punto de la bomba Lucas CAV, con puesta a punto lateral y con puesta a punto superior.*

Si se produce una aceleración o una deceleración brusca el caudal es ajustado o interrumpido según la cartografía grabada en la memoria de la unidad de control.

– Cuando se quiere parar el motor a través de la llave de contacto, la unidad de control interrumpe la alimentación de la electroválvula de paro y vigila el régimen de motor, ya que si este no disminuye, pilota la electroválvula de menos caudal.

– El sistema utiliza un testigo único en el cuadro de instrumentos que tiene dos funciones:

  » Informar de la fase de precalentamiento, encendiéndose solo mientras estén activados los calentadores.

  » Informar de un fallo en el sistema de inyección. En ese caso, se enciende durante la fase de precalentamiento, se apaga y se vuelve a encender, esta vez de manera continua.

– Los componentes del sistema que pueden ocasionar el encendido del testigo de avería son los siguientes:

  » Unidad de control o bomba de inyección por falta de alimentación.

  » Unidad de control por error de cálculo.

  » Sensor de régimen de giro.

  » Sensor de posición de la bomba.

  » Dispositivo de memoria interna de la bomba.

  » Sensor de posición del pedal del acelerador.

  » Electroválvula de más caudal.

  » Electroválvula de menos caudal.

  » Electroválvula de parada.

Sabías que...

El sistema es capaz de cambiar los parámetros de la bomba en función del consumo de energía eléctrica del vehículo. De esta forma, se incrementa el régimen de ralentí, haciendo girar el alternador más rápido para compensar la demanda de los consumidores. El régimen de ralentí máximo para esta corrección se establece en 900 rpm.

– Si se avería o está defectuosa una de las pistas del potenciómetro del pedal del acelerador, el régimen de ralentí se mantiene a 1000 rpm. Si ambas pistas están defectuosas, el régimen de ralentí se fija a 1300 rpm.

© Ediciones Paraninfo

En cualquier caso, la unidad de control conmuta a un modo de emergencia. Si se actúa sobre el pedal del freno, el régimen de ralentí vuelve a su valor nominal.

El régimen de ralentí también es regulado en función de la marcha introducida en la caja de velocidades, por ejemplo, es de 850 rpm para la primera, de 875 para la segunda, y de 900 para el resto.

Recuerda que...

Las electroválvulas de menos caudal y de paro hay que sustituirlas conjuntamente. Esto es igual para las de más caudal y de avance.

11.5. Sistemas de inyección con inyector-bomba

11.5.1. Características, componentes y funcionamiento

El objetivo de los sistemas de inyección con inyector-bomba es generar una alta presión de inyección y controlar de forma precisa la cantidad inyectada, instalando la bomba y el inyector en un único conjunto. Otro sistema parecido es el llamado sistema de bomba unitaria UPS (*Unit Pump System*), mostrado en la Figura 11.109, que consiste en una bomba de alta presión para cada cilindro, conectada mediante una tubería al portainyector correspondiente. La bomba es accionada por el árbol de levas del motor y, en los sistemas más modernos, una electroválvula se encarga de permitir el paso de combustible hacia el inyector.

Sabías que...

En 1905 Rudolf Diésel ya tenía la idea de agrupar la bomba de alta presión y el inyector en un único elemento para eliminar las tuberías de alta presión y generar una presión de inyección más elevada.

El sistema de inyector-bomba UIS (*Unit Injector System*), con control electrónico EDC, es el que más se ha empleado en vehículos de turismo diésel con inyección directa. A continuación se va a explicar este sistema basándose en el diseñado por la marca Bosch y el grupo VAG.

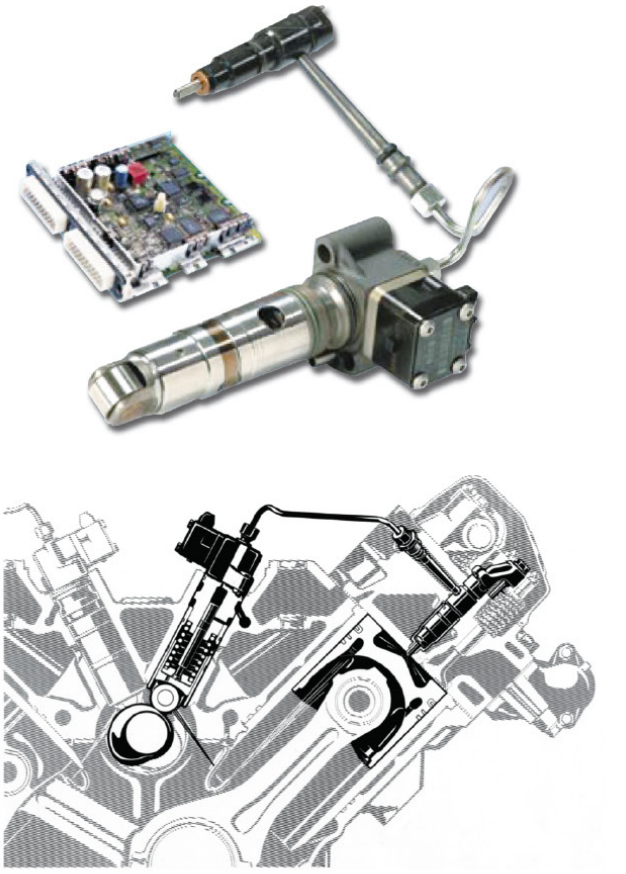


Figura 11.109. *Sistema de bomba unitaria UPS.*

Sabías que...

La primera aplicación de inyector-bomba tuvo lugar en motores marinos, siendo de control mecánico. El inyector-bomba con control mecánico se utilizó mucho en motores diésel de camiones y maquinaria.

- **Sistema de alimentación de combustible:** la Figura 11.110 muestra el esquema general del sistema de alimentación de combustible. El combustible es aspirado del depósito por una bomba mecánica accionada por el motor. Antes de llegar a la bomba, pasa por el filtro y por una válvula de retención que impide el retorno de combustible desde la bomba hacia el depósito, estando el motor parado. Esta válvula se abre cuando la presión supera 0,2 bar. Dentro del cuerpo de la bomba, la válvula limitadora de presión de alimentación comunica el lado impelente con el aspirante cuando la presión de combustible supera 7,5 bares. El tamiz interior se encarga de retener las burbujas de aire del combustible, para ser evacuadas por el estrangulador hacia el retorno. En el interior de la

© Ediciones Paraninfo

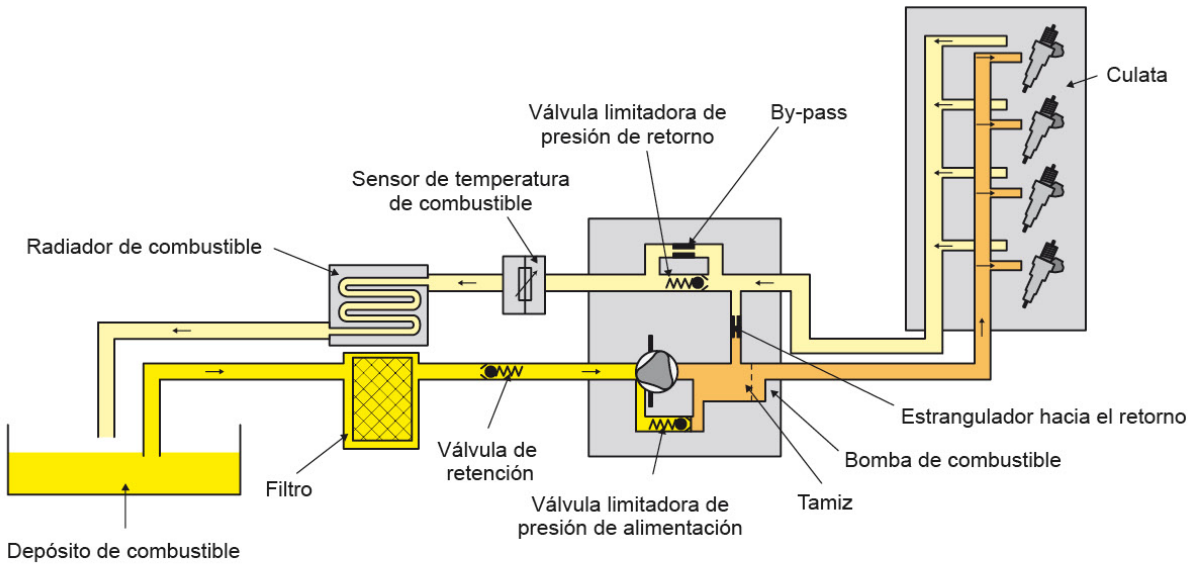


Figura 11.110. *Sistema de alimentación de combustible.*

bomba se instala también una válvula limitadora de presión de retorno, que se fija en 1 bar, con el fin de mantener la misma fuerza en la aguja de la electroválvula del inyector. El by-pass es necesario para evacuar el aire en caso de necesitar cebar el circuito, por ejemplo, si el depósito se ha quedado sin combustible. La bomba introduce el combustible en la culata, que lleva mecanizados los conductos de alimentación y de retorno. En el retorno se instala un sensor de temperatura de combustible y un radiador que lo enfría, evitando que llegue demasiado caliente al depósito.

La bomba de alimentación es equivalente a la bomba de transferencia de las bombas rotativas.

A continuación se describen los componentes principales del sistema de alimentación de combustible:

– **Bomba de alimentación:** la bomba se instala en la culata, detrás del depresor, siendo el árbol de levas el que mueve simultáneamente ambos elementos. La Figura 11.111 muestra la ubicación del conjunto, los elementos del depresor y de la bomba, así como el funcionamiento de la misma.

  » *Depresor:* se encarga de generar el vacío necesario para diversos componentes del vehículo, destacando el servofreno. Está formado por una aleta que gira dentro de un cuerpo o estator con forma elíptica, que incluye una válvula de lámina metálica para limitar el flujo de aire desde la bomba hacia el motor y otra que regula la depresión. En el depresor se introduce una pequeña cantidad de aceite que lubrica las superficies en contacto y mejora la estanqueidad entre las mismas. El aceite vuelve al motor con el aire expulsado por la válvula de lámina metálica.

Tanto el depresor como la bomba trabajan aspirando por aumento de volumen e impulsando por reducción del mismo.

  » *Bomba:* es de aletas con cierre integrado, ya que se ajustan contra las paredes del rotor por la acción de un muelle. Con esto se consigue que tenga capacidad de aspiración desde el arranque, ya que las convencionales de las bombas rotativas empezaban a succionar a partir de un determinado régimen de giro. El rotor siempre está inundado de combustible, lo que asegura la capacidad de aspiración. Cada aleta de cierre, en contacto con el rotor, genera dos celdas, una aspirante y otra impelente. El combustible se aspira y se impele en cada celda de forma continua.

– **Tubo distribuidor:** este componente se inserta en el conducto de alimentación de la culata y su función es la de distribuir uniformemente el combustible hacia los inyectores-bomba. Su funcionamiento se explica por medio de la Figura 11.112. El combustible procedente de la bomba de alimentación fluye por el interior del tubo distribuidor. Gracias a los taladros transversales, pasa a la ranura anular que se genera entre el tubo distribuidor y la culata, mezclándose con

© Ediciones Paraninfo

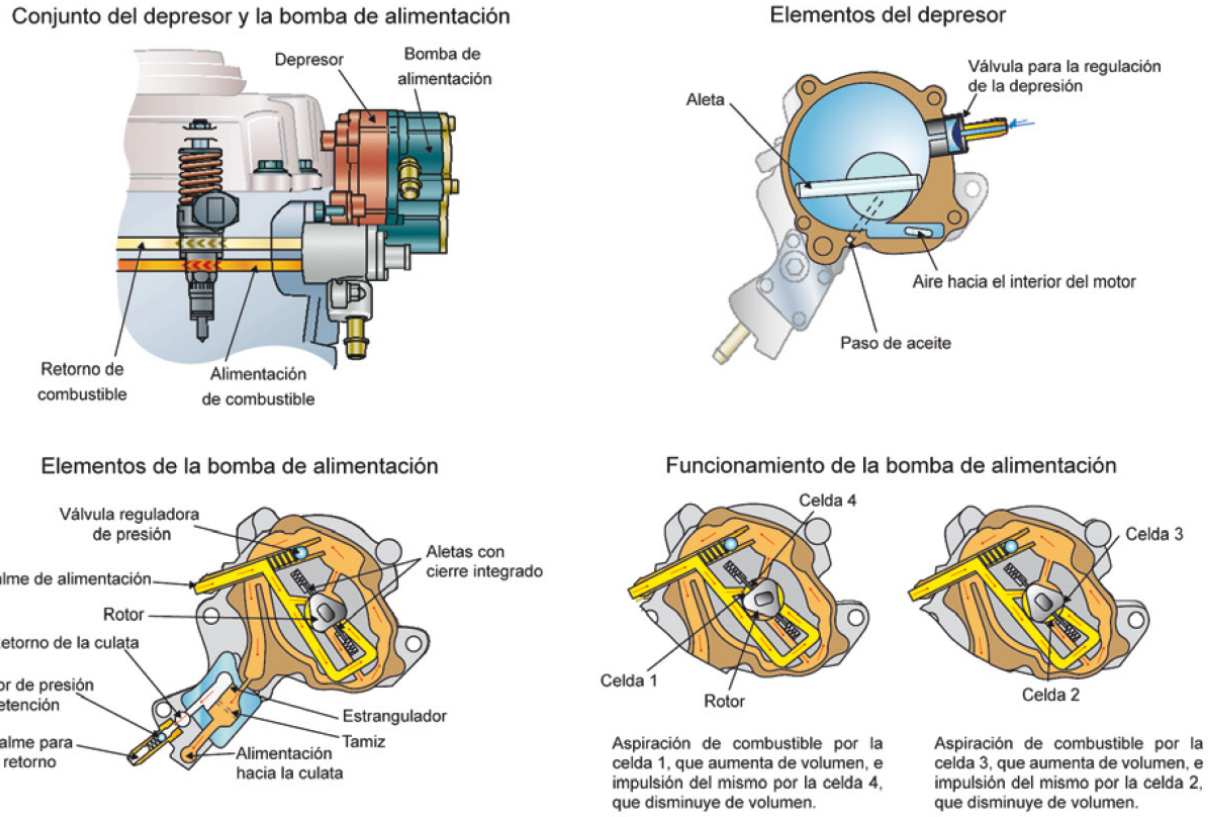


Figura 11.111. *Bomba de alimentación y depresor.*

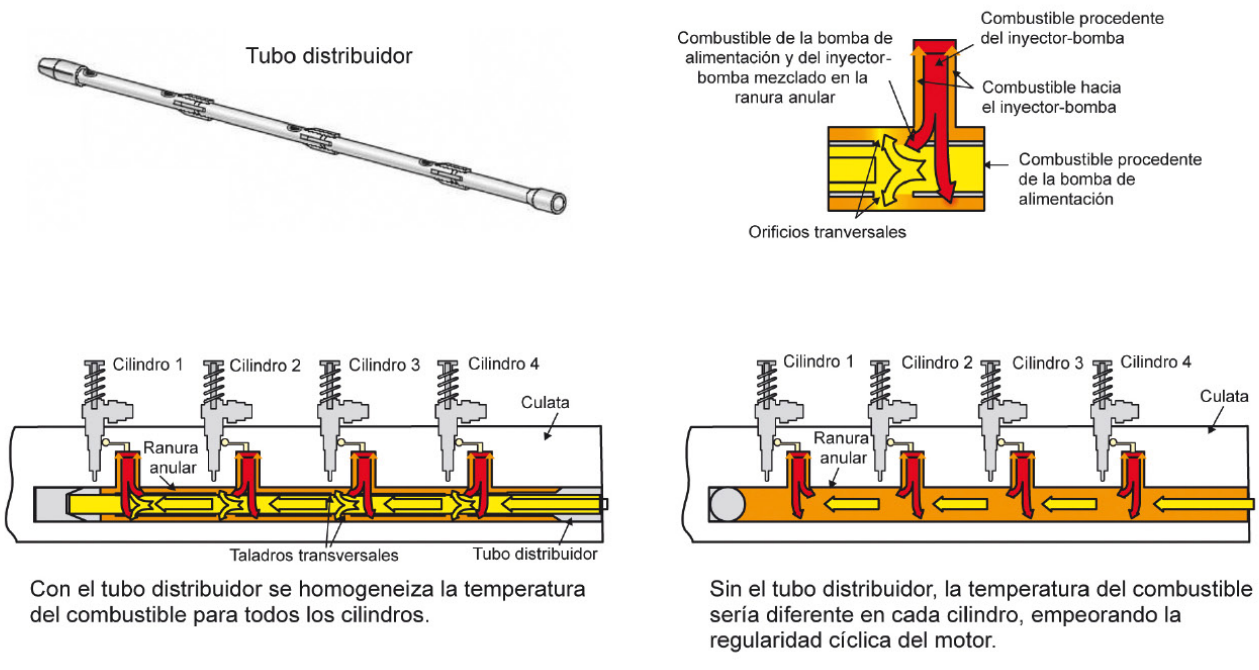


Figura 11.112. *Funcionamiento del tubo distribuidor de combustible.*

© Ediciones Paraninfo

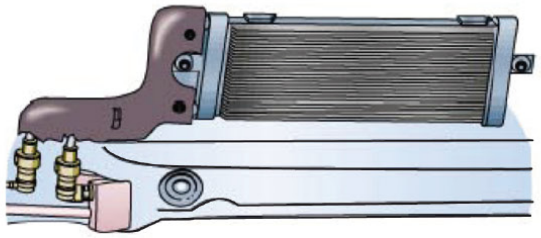
el combustible caliente del retorno de los inyectores-bomba. Así, se homogeneiza la temperatura del combustible, siendo la misma para todos los cilindros.

Gracias a la función del tubo distribuidor, el motor tiene una mayor regularidad cíclica y, por tanto, un régimen de giro más uniforme. Esto es debido a que la densidad del combustible es la misma y, por tanto, no varía el caudal inyectado ni la forma de pulverización.

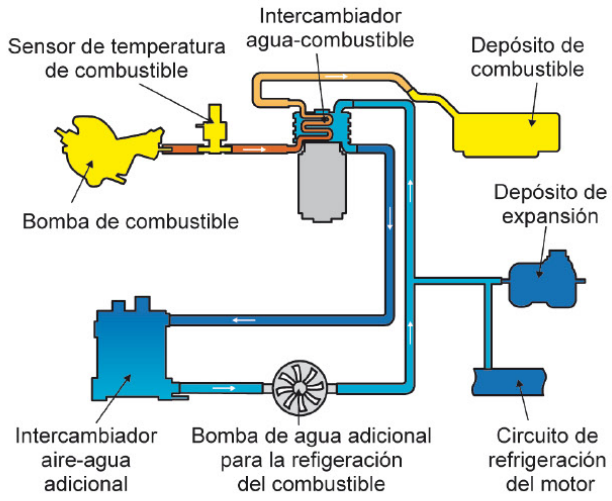
– **Refrigeración del combustible:** el combustible sobrante de los inyectores alcanza una temperatura muy elevada, por lo que hay que enfriarlo antes de retornar al depósito. La Figura 11.113 muestra dos posibles sistemas de refrigeración del combustible, que son:

» Intercambiador aire-combustible: consiste en un radiador ubicado debajo del vehículo, donde el aire de la marcha enfría el combustible de camino al depósito.

» Intercambiador agua-combustible: en este caso, el combustible que retorna de los inyectores-bomba pasa por un radiador ubicado sobre el filtro, en el que se cede calor a la refrigeración del motor. El vaso de expansión compensa las variaciones de volumen por la dilatación del refrigerante al incrementar su temperatura. Se dispone de un sensor de temperatura de combustible que, cuando supera 70 °C, pone en marcha la bomba eléctrica adicional que hace circular el refrigerante hacia el radiador adicional, permitiendo que ceda calor al aire exterior.



Intercambiador aire-combustible



Intercambiador agua-combustible

Figura 11.113. *Sistemas de refrigeración del combustible.*

- **Componentes y funcionamiento del inyector-bomba:** el inyector-bomba se compone de tres grandes grupos funcionales, que son la bomba de alta presión, la electroválvula de control y el inyector. En el árbol de levas del motor se monta una leva adicional encargada de impulsar la bomba de alta presión, interponiendo entre ambos elementos un balancín de cojinete central y rodillo. La leva tiene un flanco de ataque muy pronunciado para accionar la bomba a gran velocidad, aumentando rápidamente la presión. Por otro lado, el flanco de salida tiene un perfil suave para que no se generen burbujas de aire en la cámara de alta presión del inyector. El balancín tiene un tornillo de regulación para ajustar el juego con la bomba de alta presión. En la Figura 11.114 aparecen los componentes principales del inyector-bomba, así como su sistema de accionamiento.

La electroválvula es gestionada por la unidad de control y define el inicio y el final de la inyección.

Sabías que...

El inyector-bomba puede generar una presión de inyección superior a 2000 bar.

El funcionamiento del inyector-bomba se divide en las siguientes fases:

– **Alimentación de combustible:** siguiendo la Figura 11.115, el émbolo de la bomba asciende ayudado por la fuerza del muelle cuando la leva ataca el balancín por su círculo base. En este momento aumenta el volumen de la cámara de alta presión. Como la electroválvula está en reposo, el combustible fluye desde el conducto de alimentación (A) hasta la cámara de alta presión.

– **Preinyección:** para suavizar el proceso de combustión y el ruido del motor es preciso disminuir el tiempo de retraso. Esto se consigue realizando una preinyección, que consiste en introducir una pequeña cantidad de combustible a baja presión, de aproximadamente 180 bar, antes de la inyección principal, para aumentar la presión y temperatura de la cámara de combustión,

© Ediciones Paraninfo

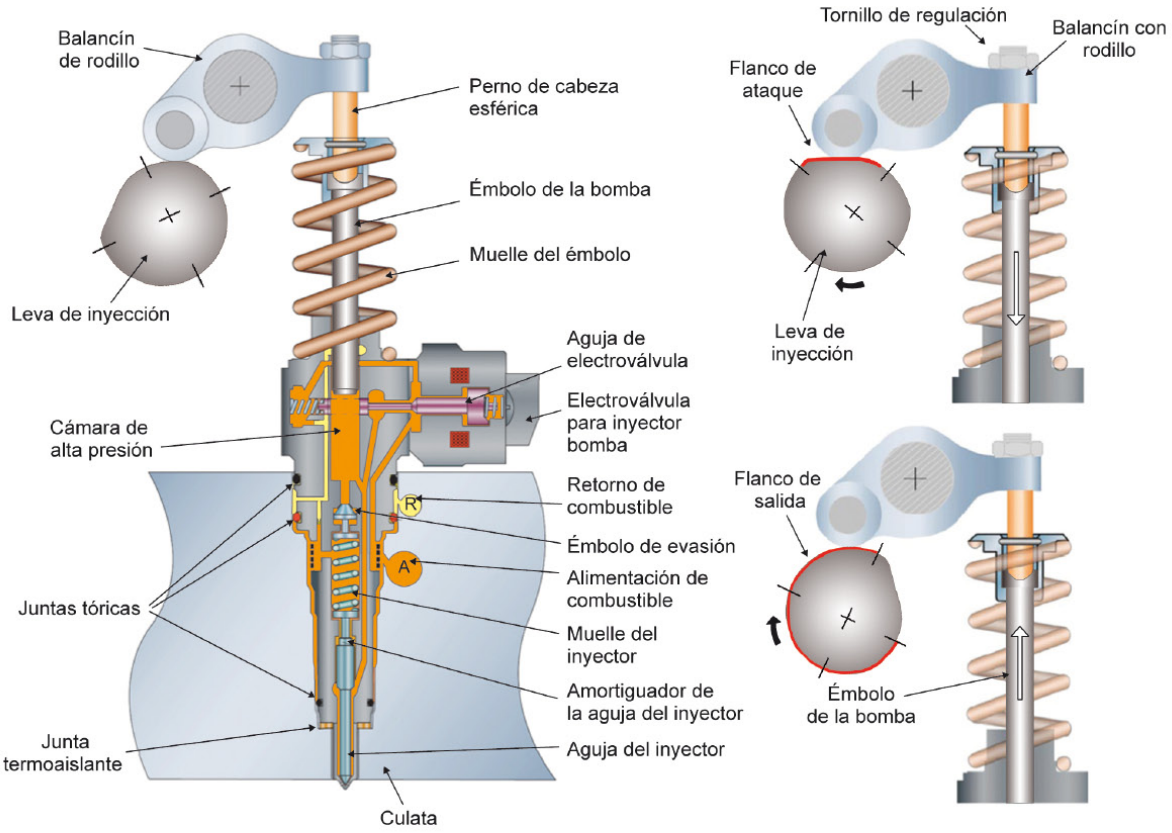


Figura 11.114. *Componentes del inyector-bomba y sistema de accionamiento.*

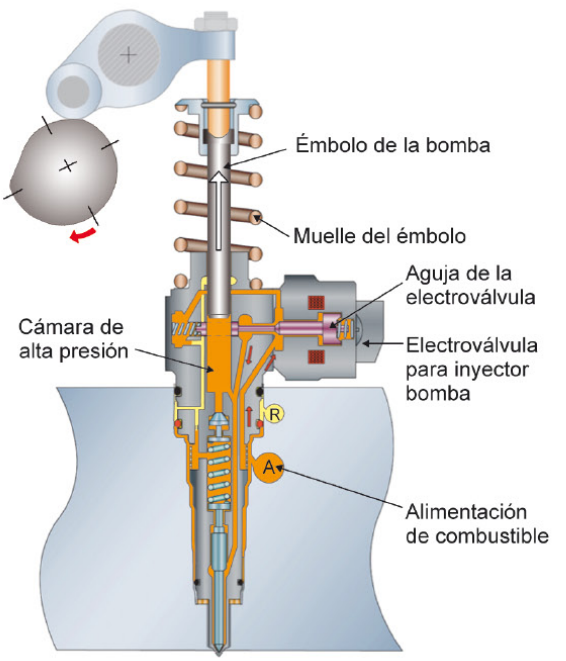


Figura 11.115. *Fase de alimentación de combustible.*

proporcionando las condiciones óptimas para la autoinflamación del combustible inyectado en la fase principal. La Figura 11.116 muestra el proceso de preinyección, que empieza cuando la leva ataca el balancín por su flanco más plano, haciendo que descienda el émbolo. El combustible que se encuentra en la cámara de alta presión, dado que la electroválvula está en reposo, se dirige hacia el conducto de alimentación de combustible. En un instante dado, la unidad de control alimenta la electroválvula y esta cierra el paso del combustible hacia el conducto de alimentación. En ese momento empieza a aumentar la presión en la cámara, levantándose la aguja del inyector de su asiento cuando alcanza 180 bares, produciéndose la preinyección. La preinyección dura muy poco tiempo y el movimiento de la aguja se limita a un tercio de su carrera total, gracias a un colchón hidráulico generado por el estrechamiento entre el émbolo amortiguador y el cuerpo del inyector. Cuando el émbolo se introduce en el estrechamiento, el combustible sale más lentamente por los orificios del inyector, ocasionando un aumento de la presión en la cámara. El aumento de presión vence la fuerza del muelle del émbolo de evasión, descendiendo

© Ediciones Paraninfo

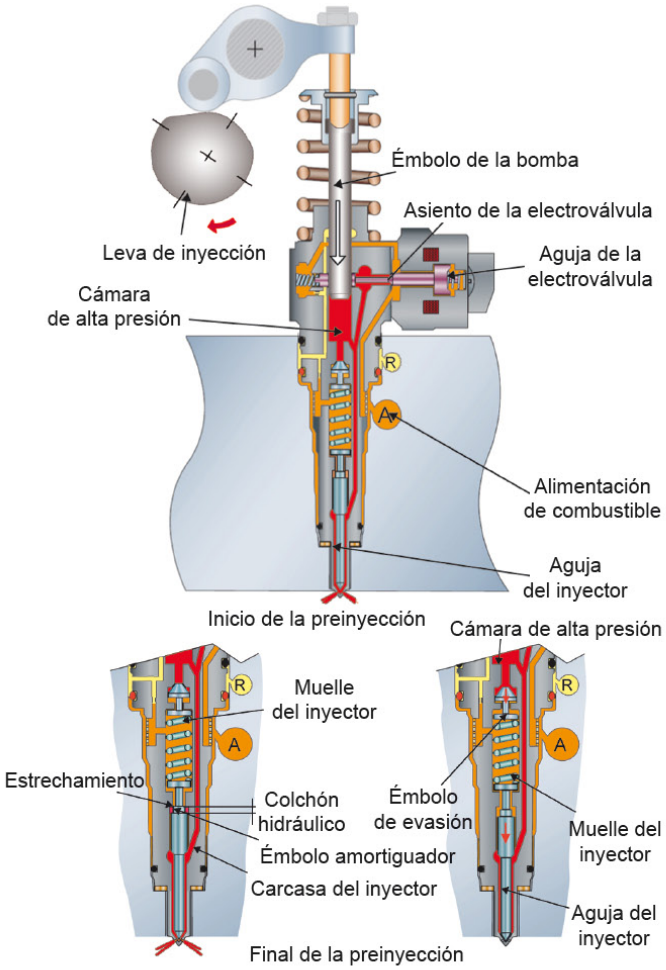


Figura 11.116. *Fase de preinyección.*

este y, consecuentemente, provocando una caída brusca de la presión en la cámara. Por este motivo el inyector se cierra, ya que su muelle tiene una fuerza mayor que la generada por la presión de combustible para su alzado, acabando la fase de preinyección.

– **Inyección principal:** como el émbolo continúa descendiendo y la electroválvula permanece cerrada, la presión en la cámara de la bomba vuelve a ascender. Cuando se alcanzan 300 bar, se supera la fuerza del muelle pretensado del inyector, abriéndose este y comenzando la inyección principal. Ahora, la cámara de alta presión comprime una cantidad de combustible mayor que la que puede salir por los orificios del inyector, motivo por el que la presión de inyección asciende hasta unos 2000 bar. La inyección principal termina cuando la unidad de control deja de alimentar la electroválvula, permitiendo que el combustible pueda dirigirse hacia el conducto de alimentación. En estas circunstancias, el muelle del inyector provoca su cierre y el émbolo de

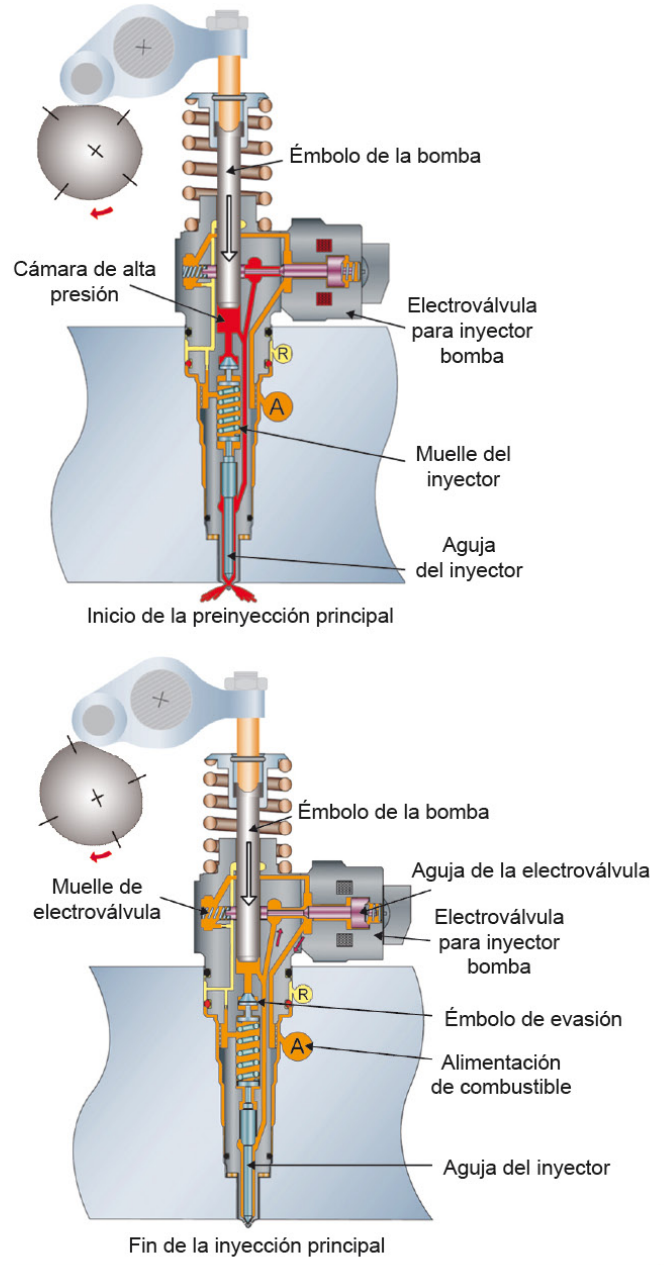


Figura 11.117. *Fase de inyección principal.*

evasión recupera su posición inicial. La Figura 11.117 representa el proceso de inyección principal.

– **Retorno de combustible:** a la cámara de alta presión se le suministra siempre una cantidad de combustible mayor que la necesaria. Por este motivo, el combustible sobrante vuelve al depósito a través del conducto de retorno, como indica la Figura 11.118. Este combustible sobrante cumple una triple función:

» *Recoger el combustible caliente:* entre el émbolo de la bomba y su cuerpo siempre se fuga una cierta

© Ediciones Paraninfo

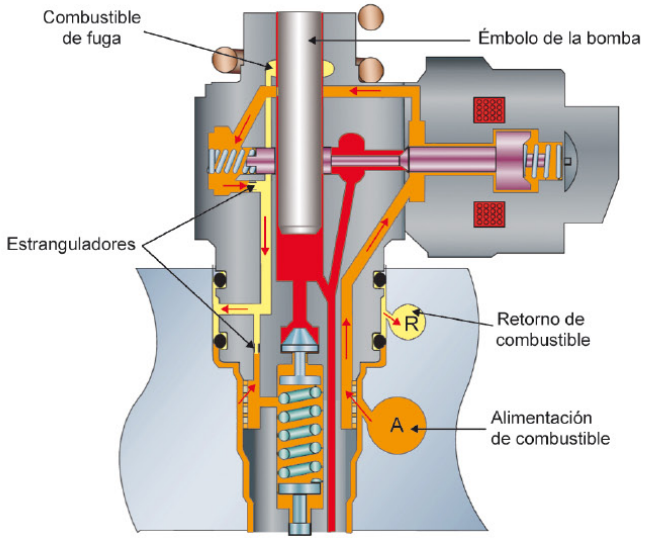


Figura 11.118. *Fase de retorno de combustible.*

cantidad de combustible, que está a una temperatura tan alta que no puede volver a introducirse en la bomba sin haber sido refrigerado previamente.

» *Eliminar las burbujas de aire:* esto se hace por medio de los estranguladores.

» *Refrigerar el inyector-bomba:* por medio de la recirculación del combustible.

- **Gestión del sistema:** la gestión por parte de la unidad de control se explica a partir de la Figura 11.119, que representa los elementos que intervienen en el sistema. Estos elementos variarán en función de la marca, modelo y equipamiento del vehículo. A su vez, muchos de ellos ya son conocidos de otros sistemas de inyección diésel con regulación EDC, por lo que a continuación solo se van a explicar las peculiaridades para la aplicación de inyector-bomba.

Recuerda que...

El CAN-Bus de datos permite que las unidades de control compartan información de sensores evitando duplicar los mismos, reduciendo además el cableado del vehículo.

– **Sensores:**

» *Medidor de la masa de aire:* está instalado en el conducto de admisión y suele ser de película caliente con detección de reflujo.

» *Sensor de régimen de giro:* es de tipo inductivo y se ubica en el bloque motor. Se encarga de captar la señal producida al enfrentarse a él una rueda generatriz de impulsos. Esta rueda tiene 56 dientes y dos huecos dobles, equivalentes a la distancia de dos dientes, desfasados 180°, sirviendo de marca de referencia para la posición del cigüeñal. La señal de este sensor informa a la unidad de control del régimen de giro del motor y de la posición del cigüeñal, para que pueda establecer el inicio y la duración de la inyección.

» *Sensor Hall:* su función es la de captar la señal producida al enfrentarse a él una rueda generatriz de impulsos, montada en el extremo del árbol de levas. Esta señal es necesaria en la fase de arranque del motor para que la unidad de control detecte qué cilindro está al final de la fase de compresión. Esto es posible porque la rueda generatriz tiene cuatro marcas desfasadas 90°, si el motor es de cuatro cilindros. La marca del cilindro cuatro consiste en un diente y las del resto de cilindros en dos, separados entre sí una distancia diferente según el cilindro que represente. De esta forma, la señal temporal del sensor Hall presentará un pulso para el cilindro cuatro y dos pulsos a diferentes distancias para los cilindros uno, dos y tres.

La Figura 11.120 muestra el sensor de régimen de giro, el sensor Hall y sus ruedas generatrices correspondientes. Asimismo, se representa la señal de ambos sensores para un determinado régimen de giro en un motor de cuatro cilindros.

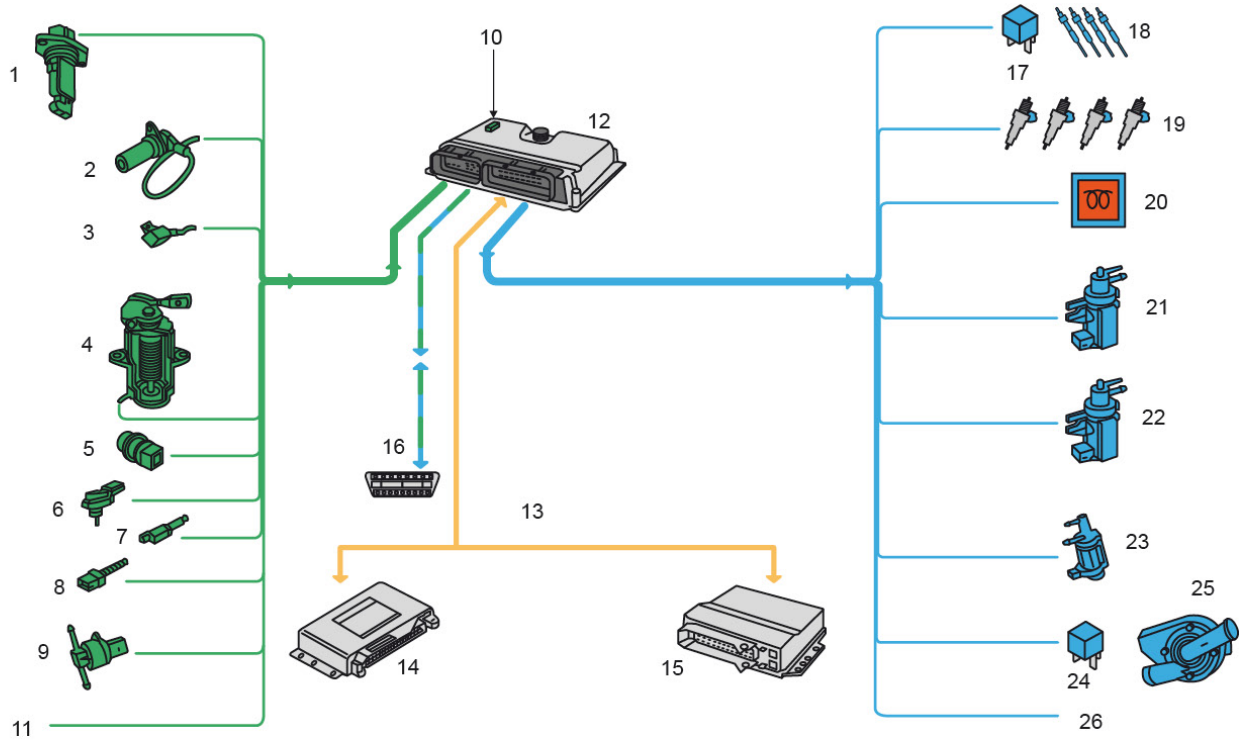
Para que el motor arranque de forma rápida, la unidad de control procesa la señal del sensor de régimen de giro y del sensor Hall. Con el sensor del cigüeñal, la unidad de control conoce la posición angular de este con media vuelta de giro, si el motor es de cuatro cilindros. Con el sensor Hall se complementa la información anterior con la posición del cilindro correspondiente. Por este motivo, la unidad de control reconoce muy rápidamente la electroválvula del inyector-bomba que tiene que excitar.

» *Sensor de posición del acelerador, de kick-down y conmutador de ralentí:* estos sensores van instalados en un único elemento, accionado por el pedal del acelerador.

» *Sensor de temperatura del líquido refrigerante:* con la información de este sensor, la unidad de control modifica la cantidad de combustible inyectado.

La señal de temperatura del líquido refrigerante se utiliza también para gestionar el sistema de precalentamiento.

© Ediciones Paraninfo



1. Medidor de la masa de aire.
2. Sensor de régimen de giro.
3. Sensor Hall.
4. Sensor de posición de acelerador, de kick-down y conmutador de ralentí.
5. Sensor de temperatura del líquido refrigerante.
6. Sensor de presión y de temperatura en el colector de admisión.
7. Conmutador de luz de freno y de pedal de freno.
8. Conmutador de pedal de embrague.
9. Sensor de temperatura de combustible.
10. Sensor de altitud.
11. Señales adicionales.
12. Unidad de control del motor.
13. CAN-Bus de datos.
14. Unidad de control del ABS.
15. Unidad de control del cambio automático.
16. Conector de diagnosis.
17. Relé de precalentamiento.
18. Bujías de precalentamiento.
19. Electroválvulas de los inyectores-bomba.
20. Testigo de precalentamiento.
21. Electroválvula de presión de sobrealimentación.
22. Electroválvula del sistema EGR.
23. Electroválvula de chapaleta del colector de admisión.
24. Relé de la bomba de agua adicional.
25. Bomba de agua adicional.
26. Señales adicionales.

Figura 11.119. *Elementos que intervienen en la gestión electrónica del sistema inyector-bomba.*

» *Sensor de presión y de temperatura en el colector de admisión:* estos dos sensores forman un conjunto único en el conducto de admisión. La señal de presión es procesada por la unidad de control para regular la presión de soplado, si el motor es sobrealimentado. Para ello compara el valor de presión real con el teórico que tiene programado y, en función de este cálculo, actúa sobre la electroválvula de control de presión de sobrealimentación. La señal de temperatura también sirve para corregir la presión de sobrealimentación, ya que la temperatura influye en la densidad del aire.

» *Conmutador de luz de freno y de pedal de freno:* estos dos elementos se integran en un único conjunto sobre el pedal de freno e informan a la unidad de control sobre su activación.

» *Conmutador de pedal de embrague:* se ubica sobre el pedal de embrague e informa a la unidad de control de si el motor está embragado o desembragado. Con esta información, se reduce momentáneamente la cantidad de combustible inyectado durante el cambio de marchas para suavizar el funcionamiento durante este transitorio.

» *Sensor de temperatura de combustible:* consiste en una resistencia de tipo NTC que se instala en el conducto de retorno de combustible. Con la información

© Ediciones Paraninfo

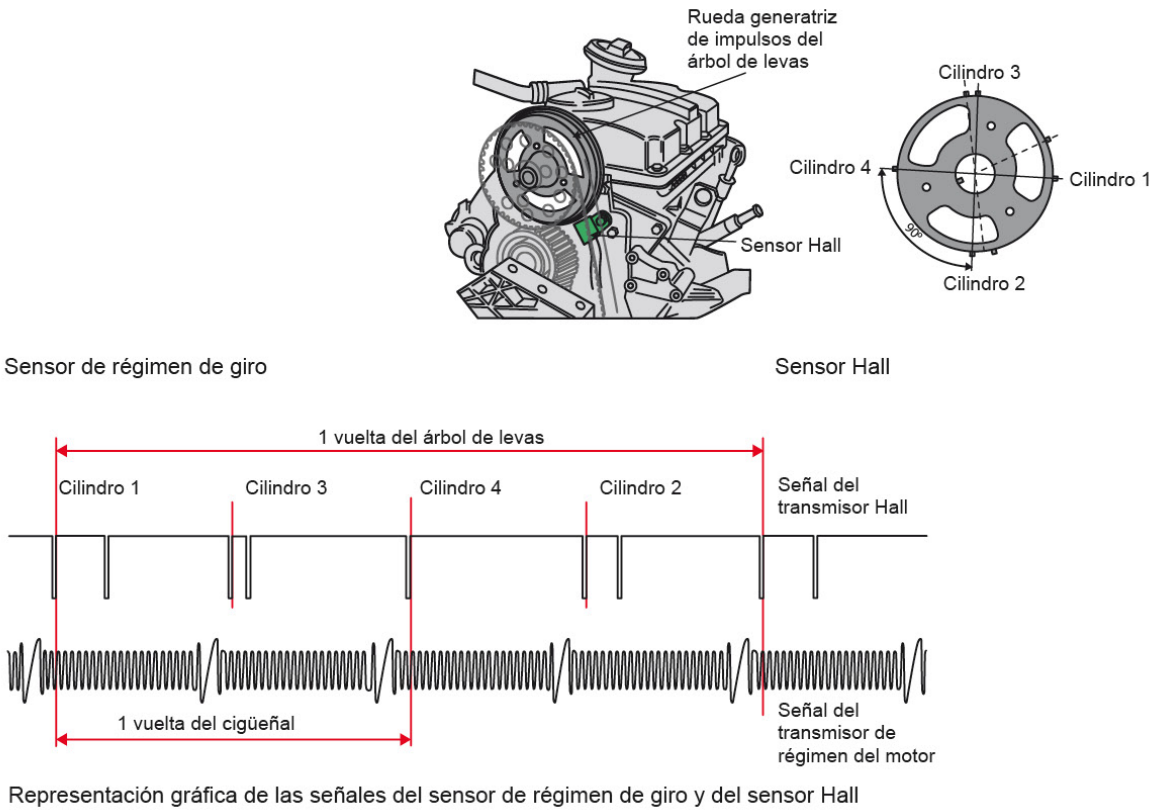


Figura 11.120. *Sensor de régimen de giro, sensor Hall y sus respectivas señales.*

de temperatura de combustible, la unidad de control modifica el avance y el tiempo de inyección. De esta forma, se corrigen las variaciones de densidad del combustible por efecto de la temperatura.

En los motores que incorporan bomba de agua adicional eléctrica, la señal de temperatura de combustible se utiliza para la activación de la misma.

» *Sensor de altitud:* este dispositivo se suele instalar en la propia unidad de control e informa a la misma de la presión atmosférica. Este dato es procesado para corregir la presión de soplado, si el vehículo es sobrealimentado, y la cantidad de gases recirculados por la válvula EGR.

» *Señales adicionales:* en función del tipo de motor y del equipamiento del vehículo, la unidad de control puede recibir señales adicionales como la de velocidad del vehículo, activación del compresor de aire acondicionado, activación del sistema de calefacción adicional o señales transmitidas entre diferentes unidades de control a través del CAN-Bus.

– **Actuadores:**

» *Electroválvulas de los inyectores-bomba:* estas electroválvulas se montan en el conjunto del inyector-bomba. Gracias a ellas, la unidad de control puede gobernar el inicio de la inyección y la cantidad de combustible aportada. El inicio de la inyección tiene lugar cuando la unidad de control alimenta la electroválvula correspondiente que, al ser de tipo electromagnético, hace que su aguja cierre el paso de alimentación de combustible hacia la cámara de alta presión de la bomba, comenzando la inyección. La cantidad de combustible inyectado viene definida por el tiempo en el que la unidad de control esté alimentando la electroválvula. La unidad de control está monitorizando constantemente la evolución de la corriente de excitación de la electroválvula, representada en la Figura 11.121, para tener una referencia real del inicio de la inyección. Cuando se excita la bobina, se genera un campo magnético, aumentando la intensidad de corriente, hasta que la aguja de la electroválvula se desplaza. Cuando la aguja impacta contra el tope de su asiento, se produce un cambio en la pendiente de la gráfica

© Ediciones Paraninfo

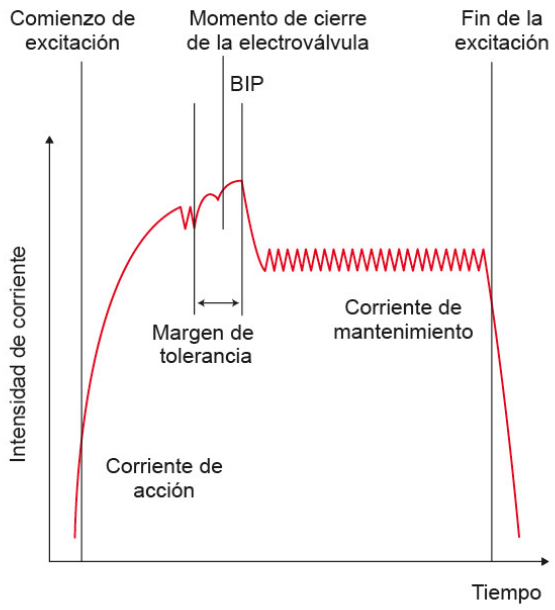


Figura 11.121. *Evolución de la corriente de excitación de la electroválvula del inyector-bomba.*

de intensidad, conocido como comienzo del período de inyección o BIP (*Begin of Injection Period*). Gracias a este cambio, la unidad de control reconoce el inicio real de la inyección, pudiéndolo comparar con el inicio teórico que tiene programado. El BIP ha de producirse dentro de un margen de tolerancia, si no, la unidad de control inscribe un código de avería. Una vez cerrada la válvula, la intensidad disminuye a un valor de mantenimiento constante, hasta que la unidad de control decide cuándo debe finalizar la inyección, momento en el cual deja de alimentar la electroválvula.

» *Testigo de precalentamiento:* forma parte de la instrumentación del cuadro y realiza una doble función. Por un lado se ilumina mientras dure la fase de precalentamiento. Por otro lado parpadea si algún elemento del sistema de gestión del motor está averiado.

» *Electroválvula reguladora de la presión de sobrealimentación:* se instala en vehículos sobrealimentados y se encarga de regular la presión de soplado.

» *Electroválvula del sistema EGR:* forma parte del sistema anticontaminación encargado de reducir los óxidos de nitrógeno. Para ello regula la mezcla de los gases de escape con los frescos que entran al cilindro.

La unidad de control establece tres niveles de regulación:

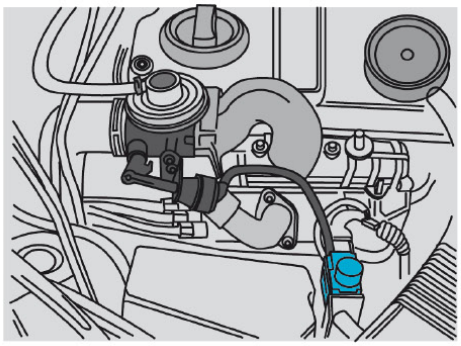
- **Regulación del inicio de la inyección:** para ello estima el caudal a inyectar a partir del régimen de giro del motor, aplicando las correcciones pertinentes con la información de temperatura de combustible, temperatura del líquido refrigerante y temperatura del aire de admisión. Posteriormente, con la señal del sensor Hall, reconoce cuál es el cilindro al que hay que inyectar el combustible. Por último, gracias a la información de posición del cigüeñal, establece el momento exacto en el que debe alimentar la electroválvula del inyector-bomba.
- **Regulación del caudal inyectado:** esto se consigue básicamente con la información de régimen de giro y de posición del acelerador. Después se aplica una corrección en función de las señales de masa de aire, temperatura de combustible, temperatura del refrigerante, temperatura del aire de admisión, presión de sobrealimentación, conmutador de pedal de freno y conmutador de pedal de embrague.
- **Regulación del caudal inyectado en cada cilindro:** esta regulación es necesaria para aumentar la regularidad cíclica del motor. Para ello, la unidad de control estima el rendimiento de cada cilindro a partir de la información de régimen de giro. Después de la combustión en un cilindro, la unidad de control calcula la aceleración experimentada por el cigüeñal y la compara con la que sufre en el resto de cilindros. Si esta aceleración difiere de unos cilindros a otros, corrige la cantidad de combustible inyectado en cada cilindro.

» Electroválvula de conmutación para la chapaleta en el colector de admisión: se encarga de aplicar vacío a la cápsula neumática que acciona la chapaleta del colector de admisión. Esta chapaleta cierra el paso de aire por el conducto de admisión cuando se desea parar el vehículo. De esta forma se reducen las vibraciones del motor en el momento de su parada, ya que si no hay entrada de aire, no hay compresión de aire y la parada es más suave. La Figura 11.122 muestra este sistema.

» *Relé de la bomba de agua adicional:* se encarga de activar la bomba de agua adicional eléctrica del sistema de refrigeración del combustible.

» *Señales adicionales:* dependiendo del tipo de motor y del equipamiento del vehículo, la unidad de control puede enviar señales adicionales de mando como la de la calefacción adicional del líquido refrigerante, la de control del electroventilador, la de desactivación del compresor del aire acondicionado

© Ediciones Paraninfo



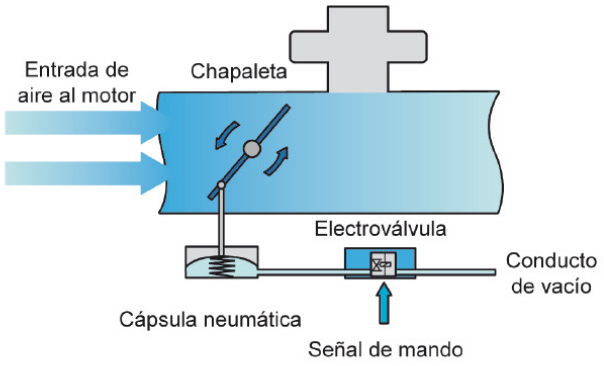


Figura 11.122. *Mecanismo de la chapaleta del colector de admisión.*

y otras que envían información al cuadro de instrumentos o a otras unidades de control mediante el CAN-Bus.

11.5.2. Evoluciones y otros sistemas

La última evolución de los inyectores-bomba fue la que montaba válvulas de tipo piezoeléctrico. Con esto se consigue una mejor adaptación de las fases de inyección, mejorando la formación de la mezcla, aumentando el rendimiento del motor y reduciendo las emisiones contaminantes.

Al sustituir la electroválvula electromagnética por un actuador piezoeléctrico, aumenta la rapidez de apertura y cierre de la válvula, pudiendo gestionar la inyección de forma más precisa.

El actuador piezoeléctrico permite una velocidad de apertura de la válvula cuatro veces más rápida que el electromagnético, haciendo posible su apertura y cierre varias veces por ciclo de inyección. De esta forma, se pueden hacer hasta dos preinyecciones y dos postinyecciones por ciclo, pudiendo variar su inicio y su duración. Otra ventaja es el rango de presiones de inyección, que va desde 130 hasta 2200 bar. En el inyector-bomba piezoeléctrico se eliminan las cámaras de alta presión de la aguja del inyector y de la aguja de la válvula, así como el émbolo de evasión. Por otro lado, el diámetro del émbolo de la bomba es menor, reduciendo las fuerzas necesarias para su accionamiento y, en consecuencia, las pérdidas mecánicas. La Figura 11.123 representa a modo de ejemplo las diferentes inyecciones que se pueden hacer en un ciclo y las presiones de inyección generadas correspondientes.

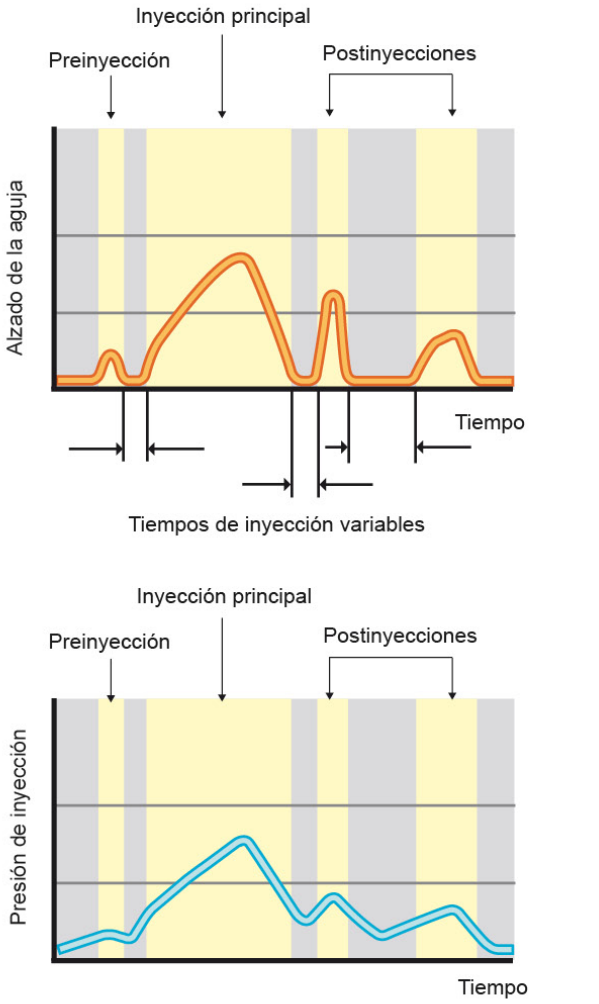


Figura 11.123. *Ejemplo de inyecciones múltiples en un ciclo y presiones de inyección generadas correspondientes de un inyector-bomba piezoeléctrico.*

Gracias a la menor fuerza necesaria para el accionamiento del émbolo de la bomba y a las inyecciones múltiples que se realizan por cada ciclo, el ruido del motor disminuye.

La Tabla 11.2 resume las diferencias fundamentales entre un inyector-bomba de accionamiento electromagnético

© Ediciones Paraninfo

TABLA 11.2

Variable	Inyector-bomba de accionamiento electromagnético	Inyector-bomba de accionamiento piezoeléctrico
Diámetro del émbolo de la bomba [mm]	8,00	6,35
Presión de inyección mínima [bar]	160	130
Presión de inyección máxima [bar]	2050	2200
Preinyecciones posibles	1 fija	De 0 a 2
Postinyecciones posibles	0 o 2	De 0 a 2
Volumen de preinyección [mm^3]	De 1 a 3	A partir de 0,5
Realización de la preinyección	Mecánico-hidráulica por el émbolo de evasión	Electrónica por actuador piezoeléctrico
Aumento de presión para la inyección principal	Por el émbolo de evasión	Por el émbolo de cierre y válvula de retención

y otro de accionamiento piezoeléctrico.

La válvula piezoeléctrica se compone de dos elementos principales, que son el actuador piezoeléctrico y el conjunto de palancas de transmisión. La Figura 11.124 muestra los elementos de un inyector-bomba piezoeléctrico y el funcionamiento de su válvula. El actuador piezoeléctrico está formado por una batería de elementos piezoeléctricos de 0,08 mm de espesor, intercalando entre ellos placas de metal conductor a las que se les aplica tensión. Esta configuración es necesaria ya que cada elemento piezoeléctrico solo varía su longitud un 0,15 % al aplicarle tensión. Con la batería de elementos mencionada, la variación de longitud del conjunto es de 0,04 mm. Aun así, esta longitud es insuficiente para que la aguja realice su carrera, que es de 0,10 mm. Para convertir los 0,04 mm de desplazamiento del conjunto en 0,10 mm de la aguja es necesario un

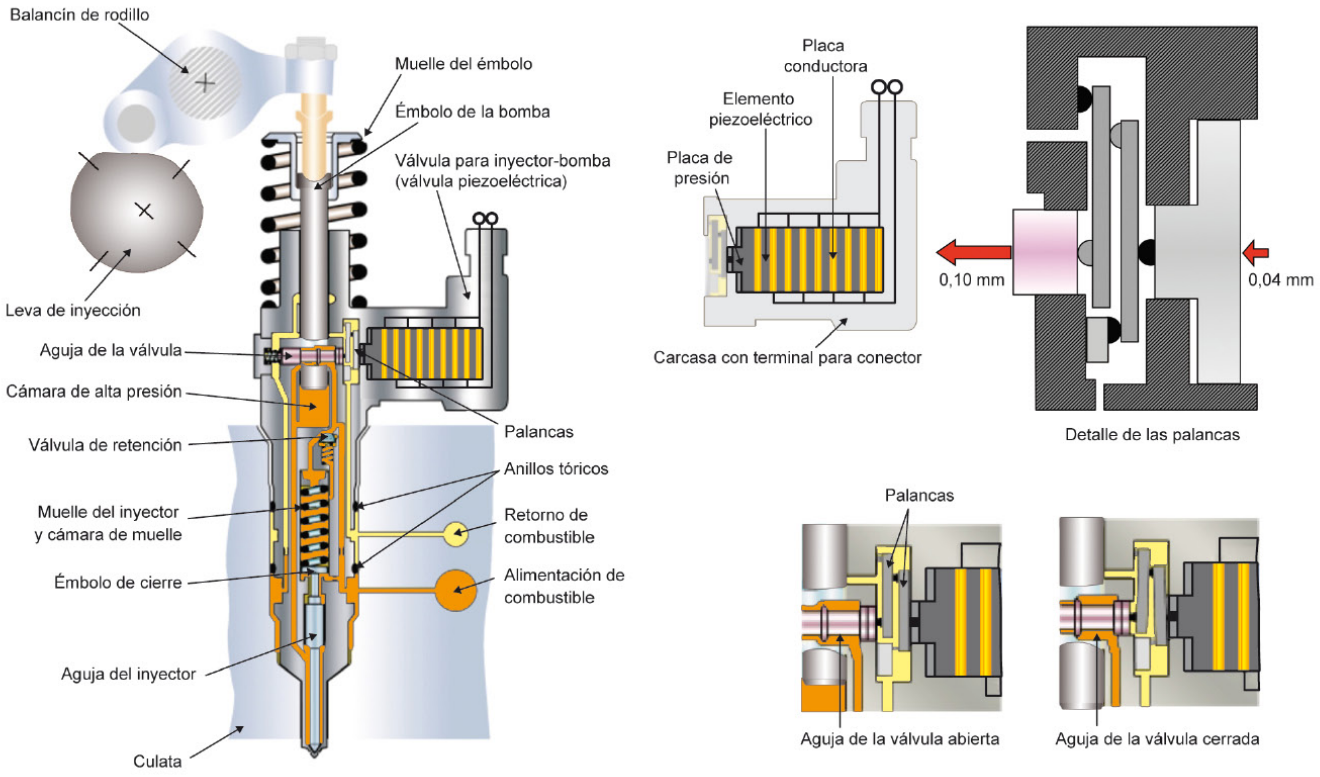


Figura 11.124. *Elementos de un inyector-bomba piezoeléctrico y funcionamiento de su válvula.*

© Ediciones Paraninfo

mecanismo de dos palancas conectadas entre sí, con puntos de apoyo descentrados y opuestos. Cuando el actuador no es alimentado por la unidad de control, el mecanismo de palancas está en reposo y la aguja de la válvula permanece abierta por la acción de su muelle. Cuando el actuador recibe alimentación, el mecanismo de palancas mueve la aguja de la válvula, cerrándola y separando la zona de alta y baja presión de combustible.

Recuerda que...

Un material piezoeléctrico tiene la propiedad de variar la diferencia de potencial entre sus extremos cuando está sometido a una tensión mecánica. Este fenómeno es reversible y se aplica a la válvula del inyector-bomba. De esta forma, al aplicar al material una tensión, sufre una deformación variando la longitud de su estructura cristalina. El incremento de longitud del cristal piezoeléctrico es proporcional a la tensión aplicada, que en el caso del actuador del inyector-bomba varía de 100 a 200 voltios.

En la Figura 11.125 aparece detallada la cámara del muelle del inyector y su funcionamiento, que es diferente a la de los inyectores-bomba de accionamiento electromagnético, ya que se ha eliminado el émbolo de evasión y se ha rediseñado el émbolo de cierre de la parte inferior. En la cámara se encuentra el muelle que cierra la aguja del inyector e impide que abra antes de tiempo. La fuerza del muelle se refuerza con la presión del combustible dentro de la cámara. El objetivo de esto último es diferenciar dos presiones sobre la aguja del inyector, en función de si está en fase de preinyección o de inyección principal. La presión en la cámara se controla por la válvula de retención ubicada a la entrada de la misma. Por último, la despresurización se lleva a cabo por medio del émbolo de cierre.

El funcionamiento de la cámara del muelle del inyector se puede dividir en tres fases:

- **Cierre de la aguja del inyector:** estando cerrada la válvula de retención, la elevada presión del combustible en el interior de la cámara empuja el émbolo de cierre, provocando que el muelle de la aguja cierre esta rápidamente. La rapidez de esta fase hace innecesario el émbolo de evasión.
- **Apertura de la aguja del inyector:** estando el inyector cerrado, la alta presión de combustible en el interior de la cámara impide que la aguja abra antes de tiempo. La apertura se realiza cuando la presión en la parte inferior de la aguja, generada por el émbolo de la bomba, sea superior a la existente en el interior de la cámara.
- **Despresurización:** después de cada fase del proceso de inyección, ya sea la preinyección, la inyección principal o la

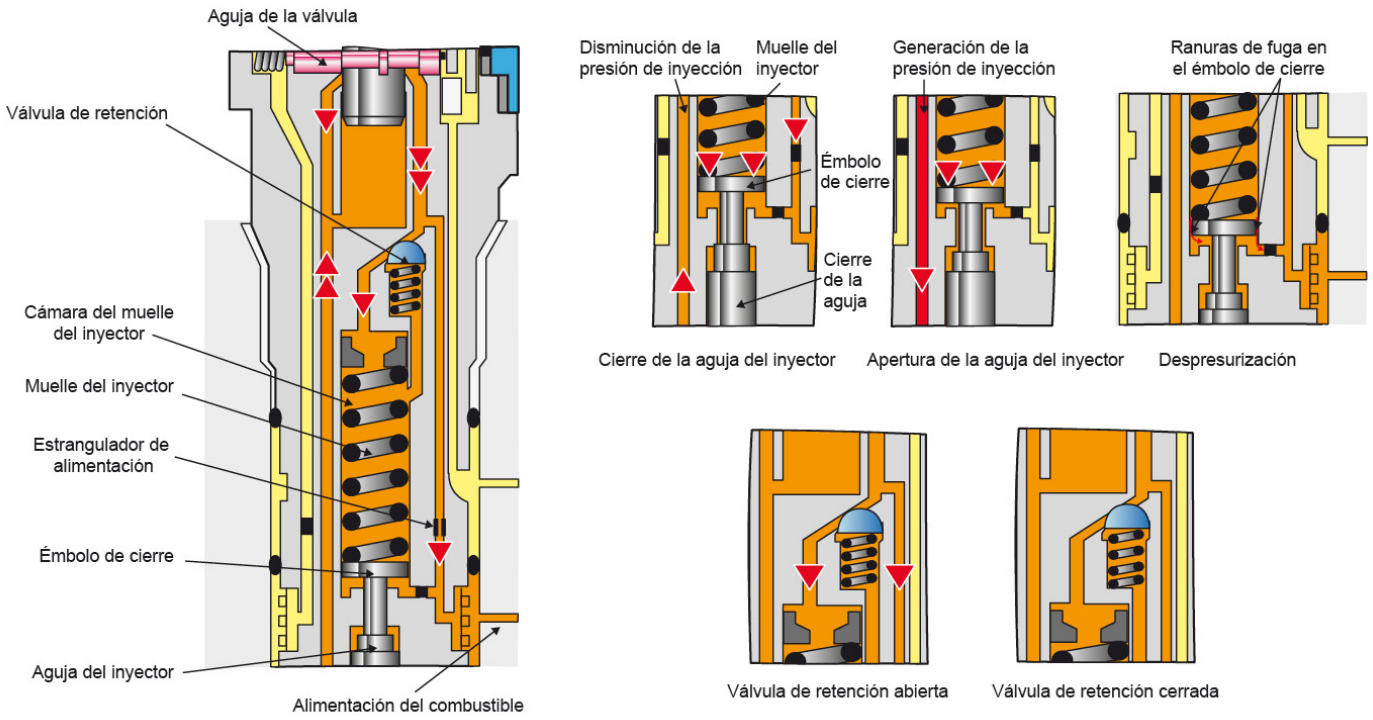


Figura 11.125. *Cámara del muelle del inyector.*

© Ediciones Paraninfo

postinyección, la cámara del muelle se despresuriza por la ranura de fuga del émbolo de cierre. De esta forma, se asegura que el siguiente ciclo comienza con una baja presión de combustible y que la preinyección se da a 130 bar.

Tras finalizar cada fase de la inyección, la cámara del muelle del inyector está cargada de combustible a alta presión, que pasa a través de la válvula de retención. En la zona de alimentación de combustible, la presión disminuye por el estrangulador de alimentación, haciendo que la válvula de retención se cierre. Con la alta presión acumulada en el interior de la cámara se favorece un cierre rápido de la aguja y la generación de la alta presión de la inyección principal y de la postinyección, ya que se refuerza la acción del muelle.

La explicación anterior es necesaria para estudiar las fases de funcionamiento del inyector-bomba con actuador piezoeléctrico, mostradas en la Figura 11.126, que son las siguientes:

- **Llenado de la cámara de alta presión:** durante esta fase, la válvula está abierta y el émbolo de la bomba asciende lentamente para no formar burbujas de aire al aumentar el volumen de la cámara, que se llena de combustible.
- **Inicio de la preinyección:** el émbolo de la bomba es atacado por la leva y desciende, obligando al combustible de la cámara a fluir hacia la zona de alimentación hasta que la unidad de control excita al actuador piezoeléctrico. En ese

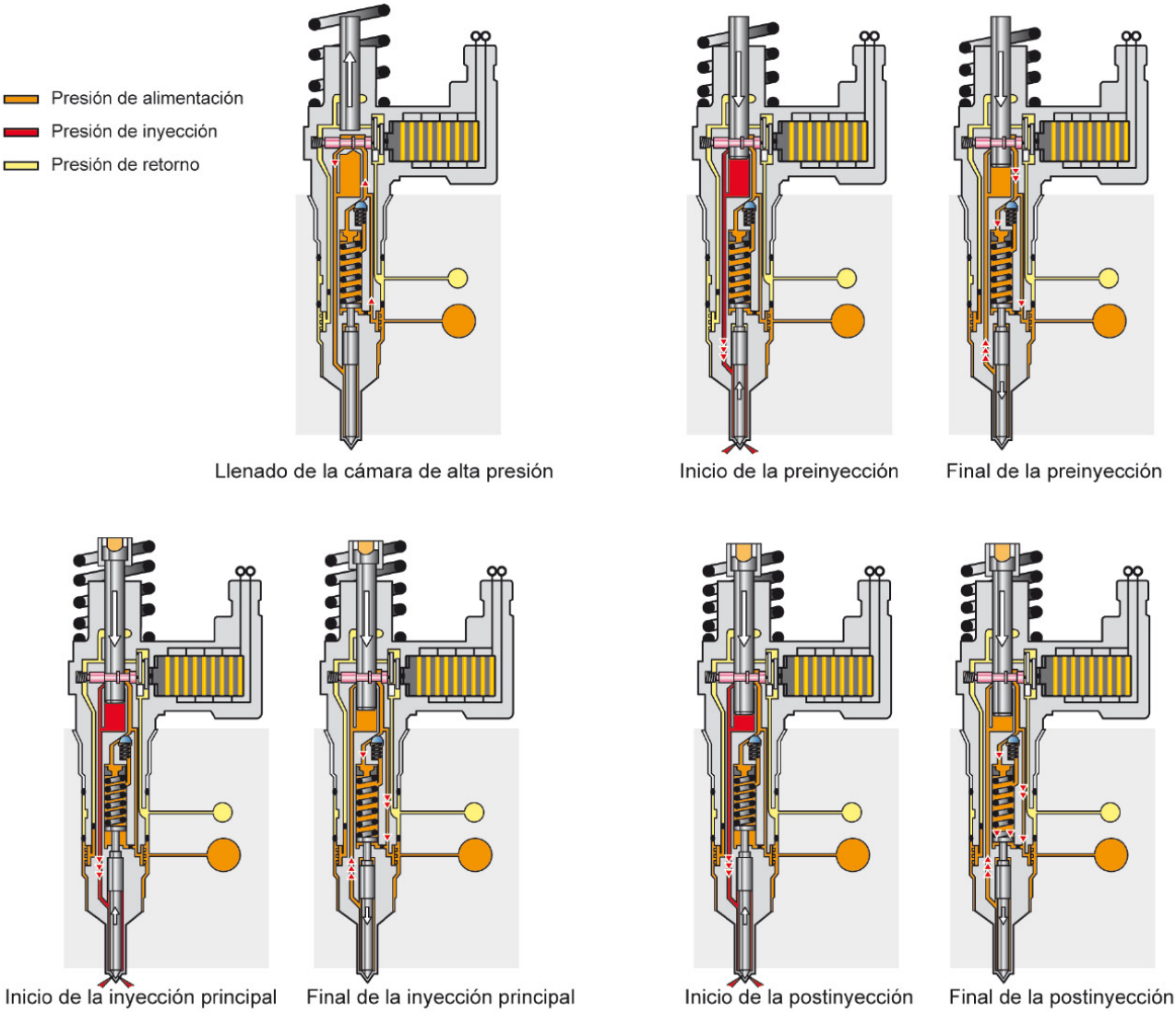


Figura 11.126. *Fases de funcionamiento del inyector-bomba con actuador piezoeléctrico.*

© Ediciones Paraninfo

momento, la aguja de la válvula hace que todo el combustible se dirija hacia la parte inferior de la aguja del inyector. El émbolo sigue descendiendo y aumenta la presión de combustible sobre la aguja del inyector, que cuando alcanza 130 bar, vence la fuerza del muelle de la cámara, la levanta de su asiento, iniciándose la preinyección.

La carrera de la aguja durante esta fase está limitada por el colchón hidráulico que se produce entre ella y el cuerpo del inyector. Esto último se produce de la misma forma que en los inyectores-bomba de accionamiento electromagnético.

- **Final de la preinyección:** la preinyección termina cuando la unidad de control deja de excitar al actuador piezoeléctrico. En ese momento, la aguja de la válvula comunica la zona presurizada con la de alimentación, disminuyendo la alta presión y cerrando de nuevo el inyector. De camino hacia el conducto de alimentación, el estrangulador de alimentación retiene el combustible, por lo que parte del mismo entra en la cámara del muelle a través de la válvula de retención. Esto favorece el cierre del inyector y genera una mayor presión sobre el émbolo de cierre, lo que permite que la aguja del inyector tenga una mayor resistencia a su apertura en la siguiente fase.

Recuerda que...

Con este tipo de inyectores-bomba se puede hacer una o dos preinyecciones en cada ciclo.

- **Inicio de la inyección principal:** el émbolo de la bomba sigue descendiendo y se vuelve a excitar el actuador piezoeléctrico. De nuevo se genera alta presión, pero ahora se necesita un valor superior para la apertura de la aguja del inyector, porque en el interior de la cámara del muelle hay combustible a alta presión. Cuando se alcanza dicho valor, comienza la inyección principal.

Recuerda que...

Como el volumen de combustible suministrado por la bomba de alta presión es mucho mayor al que se puede desalojar por los orificios del inyector, la presión aumenta hasta un valor que puede llegar a los 2200 bar.

- **Final de la inyección principal:** el actuador deja de ser excitado y la disminución de la presión de combustible se produce de la misma forma que en la fase de preinyección. El retorno de combustible ocurre de la misma forma que en el inyector-bomba de activación electromagnética, ayudando a refrigerar el conjunto y eliminando las posibles burbujas de aire.
- **Inicio de la postinyección:** las postinyecciones son necesarias cuando es necesario regenerar el filtro antipartículas, provocando un aumento de la temperatura de los gases de escape. El émbolo continúa descendiendo y de nuevo se excita el actuador piezoeléctrico. El proceso de postinyección transcurre de la misma forma que la inyección principal, pero con una duración menor.

El filtro antipartículas es un dispositivo anticontaminación instalado en la línea de escape que reduce el tamaño de las partículas de hollín producidas tras la combustión de un motor diésel, convirtiéndolas en sustancias menos contaminantes.

Recuerda que...

Con este tipo de inyectores-bomba se pueden hacer hasta dos postinyecciones en cada ciclo.

- **Final de la postinyección:** la unidad de control deja de alimentar al actuador piezoeléctrico, disminuye la presión de combustible y el inyector cierra. En la cámara del muelle del inyector vuelve a haber una alta presión de combustible. Gracias a la ranura de fuga del émbolo de cierre y a que va a transcurrir más tiempo en producirse el siguiente ciclo de inyección que entre las fases de inyección anteriormente descritas, la cámara se despresuriza. Esto es necesario para que en el siguiente ciclo de inyección, al comenzar la preinyección, la aguja del inyector abra a una baja presión de aproximadamente 130 bar.

La gestión del sistema a través de la unidad de control se realiza prácticamente de la misma forma que con el inyector-bomba de accionamiento electromagnético.

11.5.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones

Las operaciones de mantenimiento y muchas de las comprobaciones del sistema de gestión electrónica no difieren mucho de otros sistemas de inyección diésel con regulación EDC, dado que muchos sensores y actuadores funcionan de forma parecida.

La diferencia más importante se encuentra en que no es necesaria la puesta a punto de la bomba de inyección, ya que el elemento de bombeo está integrado en cada inyector y la unidad de control, gracias a diversos sensores,

© Ediciones Paraninfo

se encarga de decidir el momento de inyección, como se ha explicado anteriormente. Asimismo, las operaciones de desmontaje, montaje y ajuste en banco de la bomba de inyección desaparecen al no existir este elemento.

A continuación se van a resumir las consecuencias de las averías de los componentes más importantes del sistema de gestión electrónica.

- **Sensores:**
  - **Medidor de la masa de aire:** en caso de fallo de este dispositivo, la unidad de control establece un valor de sustitución fijo para hacer los cálculos.
  - **Sensor de régimen de giro:** si la unidad de control no recibe señal de revoluciones, el motor no arranca o si está en marcha se para.
  - **Sensor Hall:** la ausencia de información de este sensor hace que la unidad de control tome la señal del sensor de régimen de giro. Con esta señal, excita el actuador del cilindro 1 y en función de las aceleraciones producidas por el cigüeñal, reconoce la fase de compresión del resto de cilindros.

Si el sensor Hall falla, el motor sigue funcionando y arranca, aunque con mayor dificultad.

  - **Sensor de posición del acelerador, de kick-down y conmutador de ralentí:** si falla el sensor de posición del acelerador, la unidad de control entra en un modo de emergencia en el que mantiene un ralentí acelerado fijo, suficiente para que el vehículo pueda llegar al taller más próximo.
  - **Sensor de temperatura del líquido refrigerante:** en caso de fallo de este sensor, la unidad de control opera con la señal de temperatura de combustible.
  - **Sensor de presión y de temperatura en el colector de admisión:** si no se tiene la señal de presión en el colector de admisión, no se puede controlar la presión de sobrealimentación y el motor desarrolla una menor potencia. En caso de que falle el sensor de temperatura del colector de admisión, la unidad de control sustituye el valor de la señal por uno fijo, asumiendo una pérdida de potencia del motor.
  - **Conmutador de luz de freno y de pedal de freno:** si alguno de los conmutadores se avería, la unidad de control reduce la cantidad de combustible inyectado y el motor desarrolla menos potencia.
  - **Conmutador de pedal de embrague:** en caso de no recibir señal de activación del pedal de embrague, el cambio de marchas se produce de una manera más brusca.
  - **Sensor de temperatura de combustible:** si no se tiene información de la temperatura de combustible, la unidad de control sustituye esta señal por la de temperatura del líquido refrigerante.
  - **Sensor de altitud:** la avería de este sensor implica que en zonas de mayor altitud, el motor aumente las emisiones de humos negros.

Recuerda que...

En función de la altitud, la densidad del aire varía, por lo que es necesario ajustar la cantidad inyectada para tener la dosificación de mezcla correcta.

- **Actuadores:**
  - **Electroválvulas de los inyectores-bomba:** si alguna de las electroválvulas de los inyectores-bomba falla, el motor funciona de forma irregular y pierde potencia. Si la válvula se queda abierta, no se puede generar la alta presión de inyección. Si la válvula se queda cerrada, no se puede llenar la cámara de alta presión. Por tanto, en cualquiera de los dos casos no se inyecta combustible a los cilindros. Para comprobar si existe algún fallo en las electroválvulas, la unidad de control monitoriza el intervalo en el que espera encontrar el BIP, que debe aparecer dentro de un margen llamado de regulación. Dentro de este margen, la unidad de control regula el inicio de la inyección, corrigiéndolo si es diferente a su valor teórico prescrito. Si el BIP aparece fuera de este margen, la inyección comienza según unos valores fijos programados, no produciendo la regulación.

Recuerda que...

Antes de proceder a la comprobación de las electroválvulas de los inyectores-bomba debe comprobarse el circuito de alimentación. Empezando por la calidad de combustible, los filtros y midiendo con un manómetro la presión de alimentación.

La primera verificación de las electroválvulas es la de resistencia y continuidad. También se puede comparar el oscilograma de la electroválvula que se supone defectuosa con la de un cilindro que se supone que trabaja correctamente. Esto se hace con un osciloscopio y una caja de bornes, identificando las tomas correspondientes, como indica la instalación mostrada en la Figura 11.127. Esta instalación puede servir para comprobar el resto de componentes del sistema

© Ediciones Paraninfo

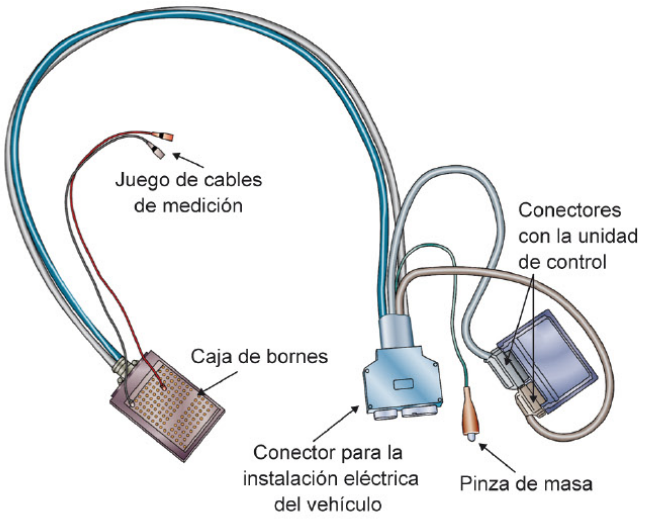


Figura 11.127. *Instalación para la comprobación de componentes del sistema de gestión electrónica mediante caja de bornes.*

de gestión electrónica. Para confirmar el diagnóstico de la electroválvula sospechosa, debe intercambiarse con la del cilindro que funciona correctamente.

En caso de avería de una electroválvula, hay que sustituir el conjunto inyector-bomba completo. Primero se retira el balancín, el eje y la brida de fijación del inyector-bomba, debiendo sacarlo con el extractor de inercia adecuado. Al montar el inyector-bomba, ya sea nuevo o usado, hay que sustituir las juntas de aceite y de aislamiento térmico. Para su instalación, se procede en orden inverso y se regula el tornillo de ajuste del balancín según indique el manual de reparación.

- **Testigo de precalentamiento:** si este testigo se avería, ni luce ni parpadea. En ese caso la unidad de control inscribe un código de avería.
- **Electroválvula reguladora de la presión de sobrealimentación:** en caso de avería de esta electroválvula, se reduce la presión de sobrealimentación y con ella la potencia del motor.
- **Electroválvula del sistema EGR:** el fallo de este dispositivo ocasiona una pérdida de potencia y la posibilidad de que no se realice la recirculación de gases de escape.
- **Electroválvula de conmutación para la chapaleta en el colector de admisión:** si la electroválvula falla, la chapaleta se queda abierta para no interferir en el rendimiento del motor, aunque durante la parada del mismo aumenten las vibraciones.
- **Relé de la bomba de agua adicional:** si se avería este relé, el combustible no se refrigera y aumenta su temperatura, pudiendo causar daños en el depósito y en el conjunto aforador.

Recuerda que...

La unidad de control incorpora funciones de autodiagnosis. La investigación de averías también se puede hacer con máquina de diagnosis, ya sea de la marca del fabricante o universal, pudiendo tener menos funciones en este último caso. Si no se dispone de máquina de diagnosis, se puede seguir un procedimiento basado en la utilización de un polímetro, un osciloscopio y la instalación de una caja de bornes.

11.6. Sistemas de inyección *common rail*

11.6.1. Características, componentes y funcionamiento

Este sistema de inyección diésel es muy diferente a los que emplean bomba mecánica, ya sea en línea o rotativa, y a los que incorporan inyectores-bomba. Está ampliamente extendido y se aplica a motores de inyección directa. Su funcionamiento se basa en suministrar a los inyectores el combustible necesario a través de un conducto común, de ahí el nombre de *common rail*, también denominado rampa de inyección o acumulador. La rampa de inyección puede ser lineal o radial, como indica la Figura 11.128.

A la vista del funcionamiento básico del sistema, puede observarse que se asemeja a los sistemas de inyección electrónica de gasolina multipunto.

La explicación de los componentes y funcionamiento se va a basar en un sistema de la marca Bosch, implantado en multitud de aplicaciones del grupo PSA. Los principios de funcionamiento son similares para otras marcas y modelos aunque pueden diferir sus componentes, tanto cuantitativamente como cualitativamente.

La Figura 11.129 muestra el esquema general del sistema *common rail*. El combustible contenido en el depósito es aspirado por la bomba eléctrica de alimentación, que a su vez lo trasvasa hacia la bomba de alta presión, pasando previamente por el filtro. En el filtro se retienen las impurezas

© Ediciones Paraninfo

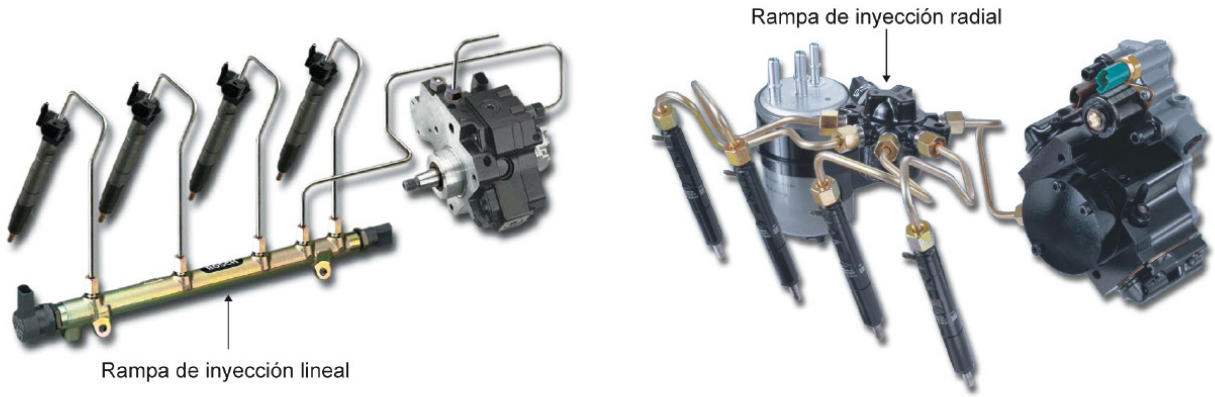


Figura 11.128. *Rampa de inyección lineal y radial.*

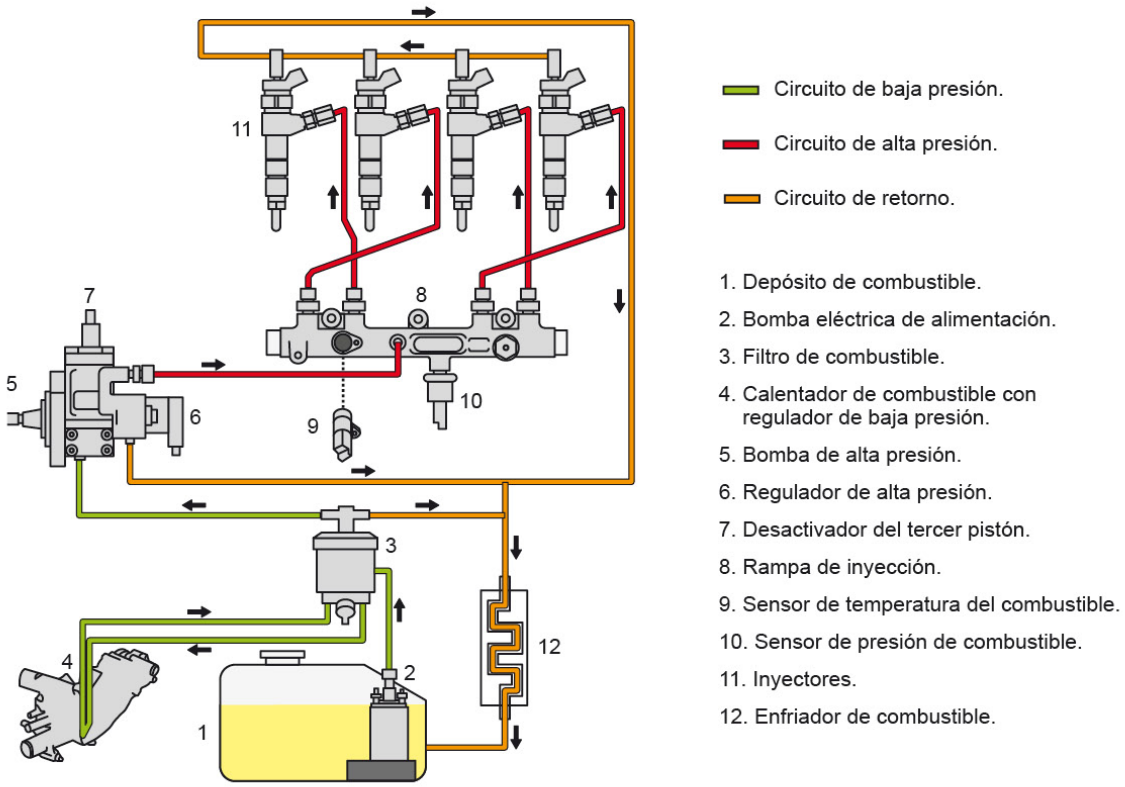


Figura 11.129. *Esquema general del sistema common rail.*

y se decanta el agua que pudiera contener. La bomba de alta presión es accionada por el motor y presuriza el combustible a una presión que puede superar los 1400 bar. Posteriormente, el combustible a alta presión llega a la rampa de inyección, de la que salen tantas tuberías como cilindros tenga el motor hacia los inyectores. El combustible sobrante de los inyectores es enviado al circuito de retorno, que lo conduce al depósito, pasando previamente por el enfriador de combustible.

Para analizar detalladamente el sistema, hay que dividirlo en tres partes, que son el circuito de baja presión, el circuito de alta presión y el sistema de gestión electrónica.

- **Circuito de baja presión:** se encarga de conducir el combustible desde el depósito a la entrada de la bomba de alta presión. Sus componentes más importantes son la bomba eléctrica de alimentación y el filtro.

© Ediciones Paraninfo

– **Bomba eléctrica de alimentación:** su accionamiento es eléctrico y suele ser de aletas, aunque en algunas aplicaciones se puede encontrar de rodillos, de rotor o helicoidal, como muestra la Figura 11.130. La bomba incorpora las válvulas de retención y de seguridad.

En función del tipo de regulación, la bomba eléctrica de alimentación puede ser:

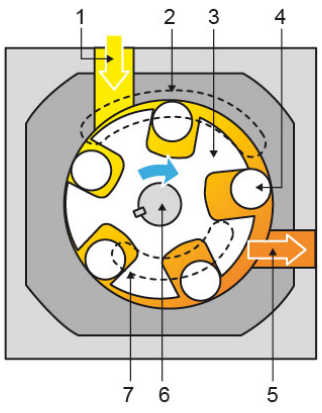
- **No regulada:** la bomba se pone en funcionamiento al conectar el encendido y si no se arranca el motor se para transcurrido un tiempo determinado. Con el motor en marcha, funciona con la máxima capacidad y régimen de giro. Al parar el motor, también lo hace la bomba.
- **Con regulación de régimen de giro:** su funcionamiento es similar al caso anterior, pero mientras esté el motor en marcha, es gobernada por la unidad de control de la bomba de alimentación a través de una señal de mando. De esta forma se monitoriza y regula su régimen de giro.
- **Con regulación de presión:** la bomba se pone en funcionamiento al conectar el encendido y si no se arranca el motor, se para en función de la presión del circuito. Con el motor en marcha, su regulación es llevada a cabo por la unidad de control de la bomba de alimentación para garantizar una presión de combustible uniforme a la entrada de la bomba de alta presión.

Con la regulación de la bomba se consigue prolongar su vida útil y reducir el consumo de combustible, ya que disminuye la demanda de energía eléctrica.

– **Filtro:** en muchas ocasiones, el propio filtro es el encargado de regular la presión del circuito de baja y el calentamiento del combustible, como indica la Figura 11.131. El filtro incorpora una válvula de regulación de presión, que abre el paso hacia el circuito de retorno cuando la presión del combustible vence la fuerza del muelle. El control del calentamiento del combustible lo lleva a cabo un elemento termostático que abre o cierra el paso del mismo hacia un intercambiador instalado en la caja de aguas del motor, de forma que el refrigerante calienta el combustible. El elemento termostático consiste en una lámina bimetálica que por debajo de 15 °C permanece curvada, desviando todo el combustible entrante hacia el calentador. Entre 15 y 25 °C, la lámina bimetálica no está tan curvada y parte del combustible pasa al calentador y parte hacia el filtro. Por encima de 25 °C, la lámina permanece plana obstruyendo el paso hacia el calentador y la totalidad del combustible pasa por el filtro.

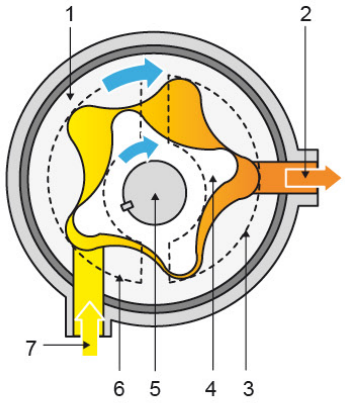
Existen otros sistemas de calentamiento del combustible, como por ejemplo los calentadores eléctricos, que calientan el combustible hasta que alcanza cierta

Bomba celular de rodillos



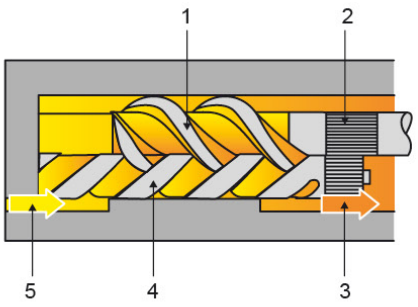
1. Entrada desde el depósito.
2. Lado de aspiración.
3. Rotor.
4. Rodillo.
5. Salida hacia el motor.
6. Árbol de accionamiento.
7. Lado de impulsión.

Bomba rotor



1. Rotor exterior.
2. Salida hacia el motor.
3. Lado de impulsión.
4. Rotor interior.
5. Árbol de accionamiento.
6. Lado de aspiración.
7. Entrada desde el depósito.

Bomba helicoidal



1. Husillo helicoidal del árbol de accionamiento.
2. Engranaje.
3. Salida hacia el motor (lado de impulsión).
4. Husillo helicoidal arrastrado.
5. Entrada desde el depósito (lado de aspiración).

Figura 11.130. *Diferentes tipos de bomba eléctrica de alimentación.*

© Ediciones Paraninfo

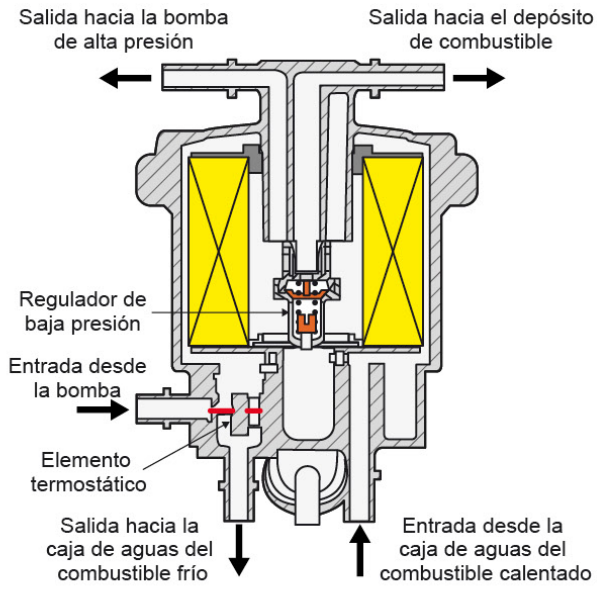


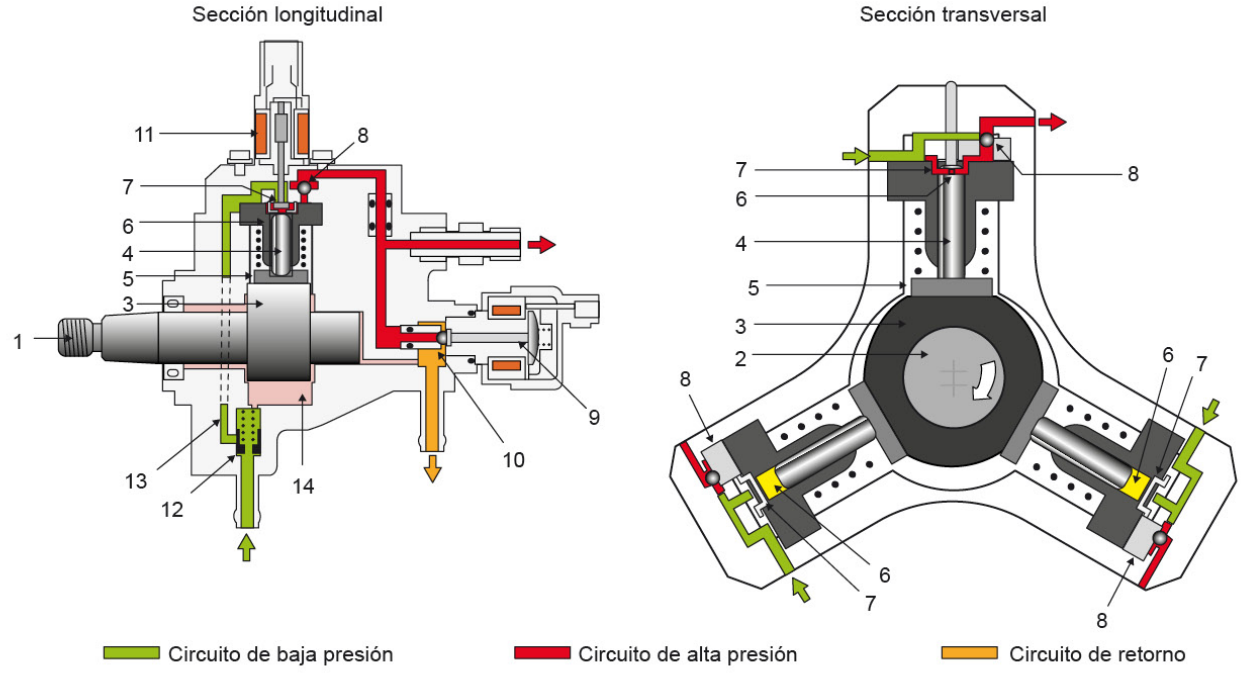
Figura 11.131. *Filtro de combustible con regulador de baja presión y elemento termostático.*

temperatura. Otro ejemplo sería aquel en el que una cápsula termostática dilatable forma una válvula de precalentamiento, de forma que, si el combustible procedente del depósito está frío, se mezcla con el de retorno. Sin embargo, cuando está caliente, el combustible de retorno se dirige al depósito y el impulsado por la bomba de alimentación hacia el motor, sin mezclarse.

- **Circuito de alta presión:** los elementos del circuito de alta presión se explican pormenorizadamente a continuación.

  – **Bomba de alta presión:** los elementos principales de la bomba están representados en una sección de la misma, en la Figura 11.132.

Aunque la bomba sea accionada por la correa de la distribución, al no ejercer función distribuidora, no necesita calado.



1. Árbol de mando.
2. Leva excéntrica del árbol de mando.
3. Anillo de la leva excéntrica.
4. Émbolo.
5. Patín.
6. Cámara de compresión.
7. Válvula de admisión.
8. Válvula de envío.
9. Regulador de alta presión.
10. Válvula de bola.
11. Desactivador del tercer pistón.
12. Válvula de seguridad.
13. Conducto de baja presión de la bomba.
14. Combustible con función lubricante y refrigerante.

Figura 11.132. *Elementos principales de la bomba de alta presión.*

© Ediciones Paraninfo

En el árbol de mando se mecaniza una leva excéntrica que acciona tres grupos de presión, estando cada uno de ellos formado por un émbolo, una válvula de admisión y una válvula de envío. Cuando el motor está en funcionamiento, la correa de la distribución mueve el árbol de mando y su excéntrica, que a través del anillo de leva, acciona los émbolos, interponiendo entre ambos elementos un patín deslizante. En la carrera descendente del émbolo, el combustible entra a la cámara de compresión, a través de la válvula de admisión. En la carrera ascendente, la válvula de admisión permanece cerrada y el combustible se presuriza hasta que se abre la válvula de envío, saliendo por el conducto de alta presión hacia el regulador de alta presión. Esta válvula reguladora de presión limita la presión de combustible que sale hacia la rampa de inyección, mediante la acción de un muelle que oprime la válvula de bola. Cuando la presión de combustible vence la fuerza del muelle, aproximadamente a 100 bar, la válvula de bola abre el conducto de retorno enviando el combustible sobrante al depósito.

Las variaciones de presión generadas por el movimiento de los émbolos y la activación de los inyectores provocan oscilaciones de presión que podrían afectar al funcionamiento del sistema. La acción del muelle y la válvula de bola del regulador de presión amortigua estas oscilaciones.

Para conseguir una alta presión a la salida de la bomba, pudiendo superar 1400 bar, el regulador de alta presión es controlado por la unidad de control. El regulador, aparte de la válvula y el muelle, incorpora una bobina que hace que se desplace la válvula de bola, al formar su vástago un núcleo magnético. Para aumentar la presión, la unidad de control alimenta la electroválvula con una señal de mando de tipo PWM, que provoca el desplazamiento del núcleo, cerrando la válvula. En estas circunstancias, la fuerza a la que está sometida la válvula es la suma de la del muelle y la del campo magnético. De esta forma, al cerrar el retorno, la presión aumenta. En caso de que el motor necesite una menor presión en la rampa, la unidad de control disminuirá la relación de impulsos y con ella la intensidad de corriente y el campo magnético, reduciendo la fuerza sobre la válvula y permitiendo más paso hacia el retorno.

Este tipo de bombas puede tener diferentes versiones. Siguiendo la nomenclatura de Bosch, se pueden encontrar de tipo CP1, CP1H, CP2, CP3… La diferencia fundamental entre unas bombas y otras consiste en la forma de generar la presión, su aplicación y su valor máximo. Existen diferentes posibilidades de generar la alta presión:

- Regulando el caudal de retorno, como en las bombas CP1, donde la presión en el raíl se regula permitiendo un mayor o menor paso del caudal de combustible generado por la bomba de alta presión hacia el retorno.
- Regulando el caudal de entrada manteniendo fijo el retorno, como en las bombas CP3, donde se controla el caudal de entrada en la bomba de alta presión. Este sistema disminuye la potencia absorbida por la bomba de alta presión, ya que solo se comprime la cantidad de combustible realmente necesaria.
- Haciendo regulación en dos puntos, de forma que se puede regular la presión en la rampa a través de la válvula reguladora de presión instalada en él o de la válvula reguladora de caudal instalada en la bomba. Este tipo de regulación permite al sistema controlar la presión de raíl con una mayor exactitud.

El desactivador del tercer pistón o del tercer émbolo tiene la misión de anular uno de los tres grupos de presión para disminuir la potencia absorbida al motor, cuando trabaja con poca carga. Consiste en una bobina con un vástago que se desplaza por su interior debido a la acción de un campo magnético, como muestra la Figura 11.133. En posición de reposo, la unidad de control no alimenta el circuito de mando y la válvula de admisión abre para permitir la entrada de combustible a la cámara de compresión, cerrándose para que una vez presurizado salga por la válvula de envío. Cuando la unidad de control estima necesario desactivar el tercer pistón, cierra a masa el circuito de mando de la electroválvula y el campo magnético creado desplaza el vástago, abriendo la válvula de admisión. De esta forma no se genera presión en el interior de la cámara de compresión. El desactivador permanece en reposo cuando el motor está al ralentí o cuando el pedal del acelerador no supera los dos primeros tercios de su recorrido. Por el contrario, se pone en funcionamiento cuando el motor supera 1100 rpm, cuando el pedal del acelerador no llega a los dos primeros tercios de su recorrido y siempre que la temperatura del combustible sea mayor de 105 °C.

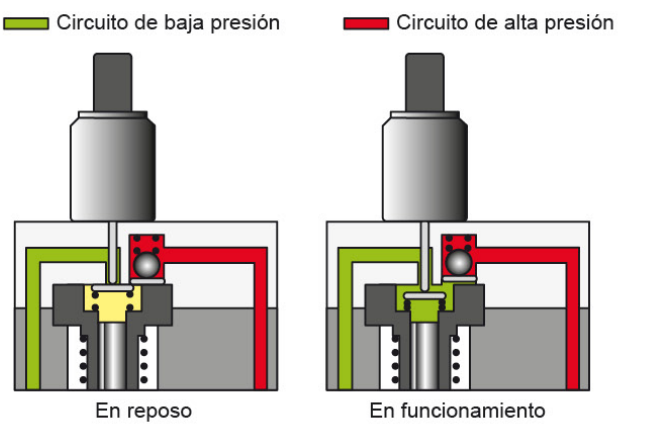


Figura 11.133. *Funcionamiento del desactivador del tercer pistón.*

© Ediciones Paraninfo

La refrigeración y el engrase de la bomba la realiza el propio combustible que circula por determinados conductos de la bomba. En la entrada de combustible a la bomba se instala una válvula de seguridad, que en condiciones normales de funcionamiento está retraída, ya que la presión del combustible es capaz de vencer la fuerza de su muelle. Así, el combustible pasa al conducto de baja presión y una pequeña parte del mismo se introduce en el interior de la bomba a través de un paso calibrado incorporado en la válvula, para su refrigeración y lubricación, acabando posteriormente en el circuito de retorno. Si ocasionalmente descendiera la presión de alimentación a la bomba, el muelle de la válvula de seguridad cierra el paso hacia el conducto de baja presión, pero se permite que entre en el interior de la bomba a través del surtidor de la válvula. Con esto se asegura la lubricación mientras la bomba esté girando.

La presión de apertura de la válvula de seguridad es de 0,5 a 1,5 bar.

– *Rampa de inyección:* dadas las altas presiones que tiene que soportar este elemento, se fabrica en acero forjado. Incorpora el sensor de temperatura de combustible, el de presión de combustible y los racores de salida hacia los inyectores. Algunos modelos montan en dichos racores un limitador de paso de combustible para amortiguar las fluctuaciones que se producen en la presión de combustible cuando abren los inyectores.

En muchas aplicaciones, se instala en un extremo de la rampa la válvula reguladora de la presión de combustible, excitada por la unidad de control a través de una señal PWM, de forma que puede regular la alta presión en el interior de la rampa comunicándola con el retorno.

– **Inyectores:** los inyectores se instalan en la culata y son de accionamiento electromagnético. La Figura 11.134 muestra los elementos principales del inyector y describe su funcionamiento. La unidad de control es la

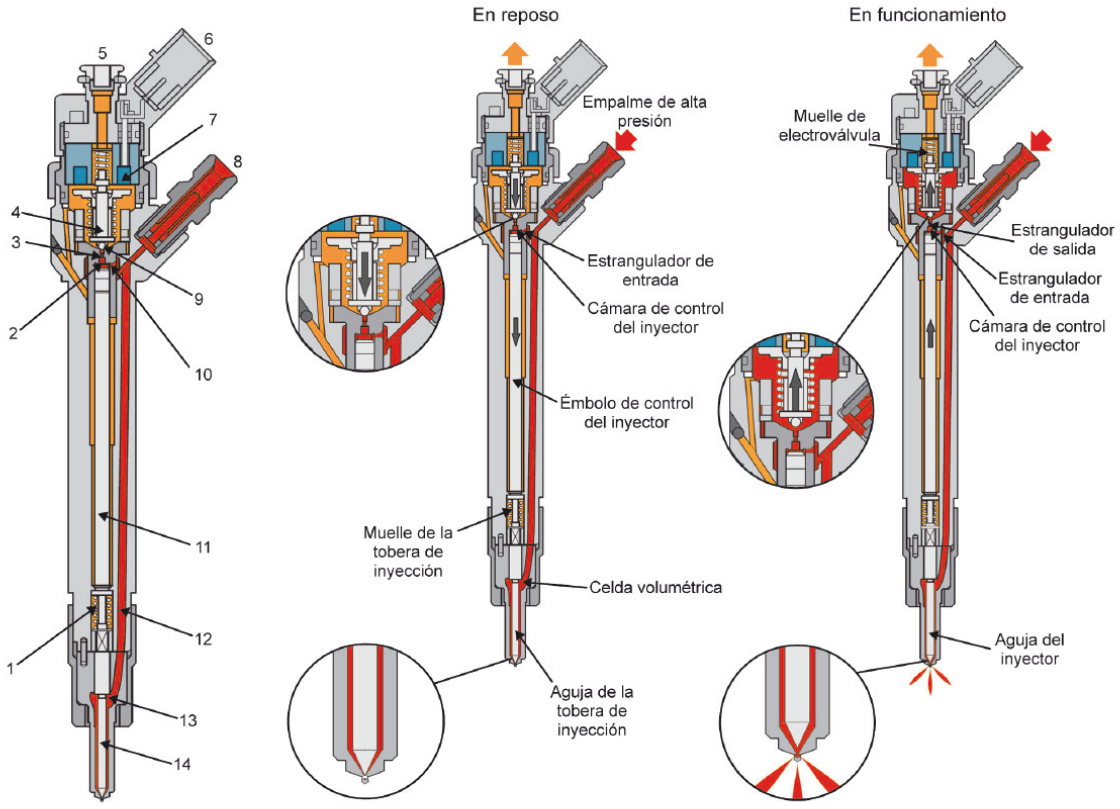


Figura 11.134. *Elementos principales del inyector de accionamiento electromagnético y descripción de su funcionamiento.*

© Ediciones Paraninfo

encargada de regular el inicio y el fin de la inyección a través de la electroválvula del inyector, que tiene dos estados fundamentales:

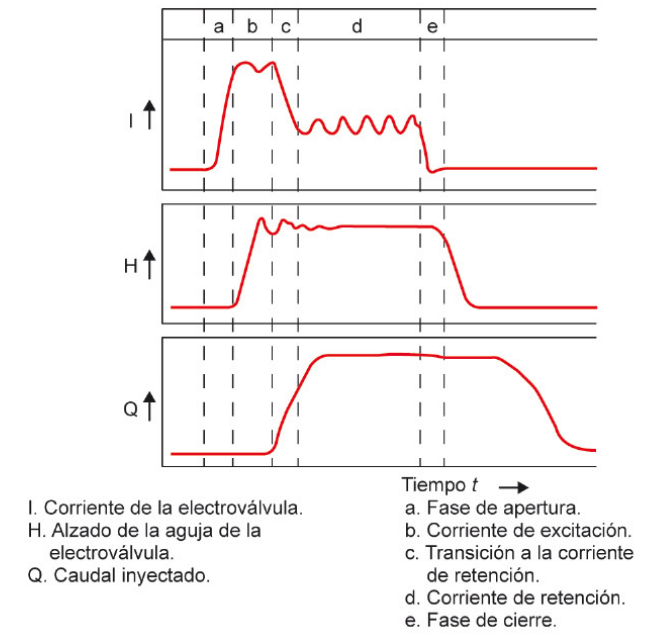
» En reposo: la electroválvula no es excitada por la unidad de control y el inducido mantiene la válvula de bola cerrando el paso hacia el estrangulador de salida. De esta forma, el combustible a alta presión procedente de la rampa entra a la cámara de control y a la celda volumétrica. El equilibrio de presiones entre ambas cámaras hace que la aguja permanezca cerrada por la fuerza que sobre ella ejerce su muelle. En estas circunstancias no se inyecta combustible.

» En funcionamiento: la unidad de control excita la electroválvula, levantando la válvula de bola de su asiento. En ese momento se abre el estrangulador de salida de combustible hacia el retorno, por lo que la presión en la cámara de control desciende, desapareciendo el equilibrio de presiones. Este fenómeno hace que la menor presión de la cámara de control haga ascender la aguja, comenzando la inyección. La inyección termina cuando la unidad de control deja de alimentar la electroválvula y la válvula de bola vuelve a cerrar el estrangulador de salida, reestableciéndose el equilibrio de presiones entre las dos cámaras.

La cantidad de combustible inyectado depende de la presión en la rampa, el número y diámetro de los taladros del inyector, el tiempo de inyección y la velocidad de apertura de la aguja. La Figura 11.135 muestra un inyector de cinco orificios.

El rápido movimiento de la aguja se consigue alimentando la electroválvula en dos etapas, como representa la Figura 11.136. La primera etapa dura aproximadamente

Figura 11.135. *Inyector de cinco orificios.*



I. Corriente de la electroválvula.
H. Alzado de la aguja de la electroválvula.
Q. Caudal inyectado.

a. Fase de apertura.
b. Corriente de excitación.
c. Transición a la corriente de retención.
d. Corriente de retención.
e. Fase de cierre.

Figura 11.136. *Representación gráfica de la evolución de la corriente de excitación de la electroválvula, alzado de la aguja y caudal inyectado en un inyector de accionamiento electromagnético.*

0,3 ms, siendo la tensión de alimentación de 80 V y la corriente suministrada de 20 A. La segunda etapa comienza cuando se ha desplazado la aguja y la señal de mando pasa a la fase de mantenimiento, descendiendo la tensión a unos 50 V y la corriente unos 12 A. Cuando la electroválvula deja de ser excitada finaliza la inyección.

Para conseguir los anteriores valores de tensión, superiores al voltaje de la batería, la unidad de control incorpora dos etapas de condensadores. Cuando el inyector está en reposo, la unidad de control manda una serie de impulsos a la bobina de la electroválvula que genera una tensión inducida que carga el condensador. Este sistema permite adaptar el ciclo de inyección, de forma que, aparte de la inyección principal, se pueden producir hasta dos preinyecciones y hasta dos postinyecciones, como muestra la Figura 11.137. Las preinyecciones introducen una pequeña cantidad de combustible que hace que aumente la presión y la temperatura progresivamente en el interior del cilindro, reduciendo el tiempo de retraso y con él el ruido de combustión. Las postinyecciones se producen tras la inyección principal y aportan también una pequeña cantidad de combustible para el tratamiento de los gases de escape.

La unidad de control puede suprimir las preinyecciones a partir de un determinado régimen de giro del motor o si la presión en la rampa de inyección es inferior al valor prescrito.

© Ediciones Paraninfo

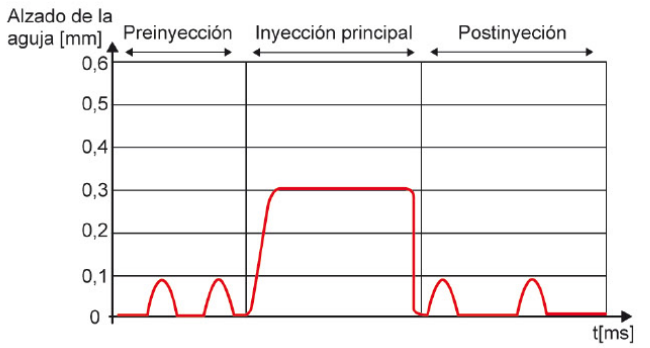


Figura 11.137. *Representación gráfica de un ciclo de inyección con inyecciones múltiples.*

Sabías que...

Con el *common rail* se mantiene prácticamente constante la presión durante la inyección, creando una atmósfera favorable para la mezcla. En los sistemas con bomba mecánica, mientras se está inyectando el combustible aumenta la presión y luego desciende hasta que cierra el inyector.

- **Sistema de gestión electrónica:** para que el sistema funcione, la unidad de control debe conocer en todo momento las condiciones operativas del motor, a través de diversos sensores. Los sensores principales son los que figuran a continuación. Muchos de ellos son similares a los implementados en otros sistemas, por lo que se detallarán las funciones específicas para el caso del *common rail*.
  - **Medidor de la masa de aire:** se instala después del filtro de aire y antes del compresor. Suele ser de película caliente e incorpora una resistencia NTC para medir la temperatura del aire de admisión. Con la información de este dispositivo, la unidad de control regula la cantidad de gases de escape a recircular y limita la formación de humos en las fases de aceleración y deceleración.
  - **Sensor de régimen de giro:** suele ser de tipo inductivo y normalmente va instalado sobre la campana del embrague, enfrentándose a una corona almenada perteneciente al volante de inercia. Informa a la unidad de control del régimen de giro y de la posición angular del cigüeñal, gracias a dos huecos equivalentes a dos dientes, desfasados 180°, si el motor es de cuatro cilindros.
  - **Sensor Hall:** este sensor capta la señal de una rueda almenada dispuesta en el árbol de levas. Su señal es necesaria para sincronizar la inyección y reconocer el PMS de cada cilindro.
  - **Sensor de posición del acelerador:** informa a la unidad de control de si se desea acelerar o decelerar, así como de la posición exacta del pedal del acelerador. Transmite dos señales cuya tensión depende de la posición angular del pedal. Con ellas, la unidad de control calcula el caudal, la presión y el tiempo de inyección.
  - **Sensor de temperatura del líquido refrigerante:** consiste en una resistencia NTC cuya información es utilizada por la unidad de control para determinar el tiempo de pre y post calentamiento, el caudal de combustible a inyectar, el régimen de ralentí y la puesta en marcha del electroventilador.
  - **Sensor de presión en el colector de admisión:** mide la presión de aire en el colector de admisión para que la unidad de control regule la presión de sobrealimentación, la presión de combustible y el tiempo de inyección.
  - **Sensor de presión de combustible:** gracias a este sensor, la unidad de control conoce la presión de combustible en la rampa de inyección para ajustarla al valor óptimo según las condiciones de funcionamiento del motor. Con este dato también puede regular el caudal de combustible inyectado.
  - **Conmutador de pedal de freno:** informa a la unidad de control de cuándo se está accionando el pedal de freno, para que entre el funcionamiento el programa anti-tirones. Así, durante el frenado, el motor funciona suavemente.
  - **Conmutador de pedal de embrague:** sirve para informar a la unidad de control que se está produciendo un cambio de marchas, para que ajuste los parámetros de inyección con el fin de suavizar este transitorio.
  - **Sensor de temperatura de combustible:** suele ir instalado en la rampa de inyección y su información es requerida por la unidad de control para calcular la densidad del combustible y regular el caudal de inyección.
  - **Sensor de altitud:** suele ser de tipo piezoeléctrico e integrado en la unidad de control, que determina la densidad del aire atmosférico e impide el funcionamiento del sistema EGR cuando el vehículo circula por zonas de elevada altitud.

Recuerda que...

El sistema EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) es un dispositivo anticontaminación que reduce los NO_x mezclando parte de los gases de escape con los de admisión bajo ciertas condiciones.

© Ediciones Paraninfo

– *Señales adicionales:* en función del equipamiento pueden ser necesarias otras señales. Cabe destacar la señal de velocidad del vehículo, que junto con la señal de régimen de giro, la unidad de control estima la marcha que tiene engranada para optimizar el régimen de ralentí cuando está circulando. La señal de conexión del compresor del aire acondicionado también es importante para ajustar el ralentí.

11.6.2. Evoluciones y otros sistemas

Aunque el número y tipo de sensores y actuadores puede variar de unas aplicaciones a otras, el principio de funcionamiento del sistema *common rail* es el mismo. A continuación se explican dos elementos principales que pueden diferir de unas unidades a otras, que son la bomba de alta presión y los inyectores piezoeléctricos.

- **Otras bombas de alta presión:**
  - **Bombas de émbolos radiales:** algunos sistemas montan una bomba que genera la alta presión con un elemento de bombeo de émbolos radiales, similar al empleado en determinadas bombas rotativas. La Figura 11.138 muestra una visión general del conjunto.

Figura 11.138. *Sistema common rail con bomba de alta presión de émbolos radiales.*

  - **Bombas de dos émbolos opuestos:** un ejemplo de este tipo de bomba es la que se detalla en la Figura 11.139.

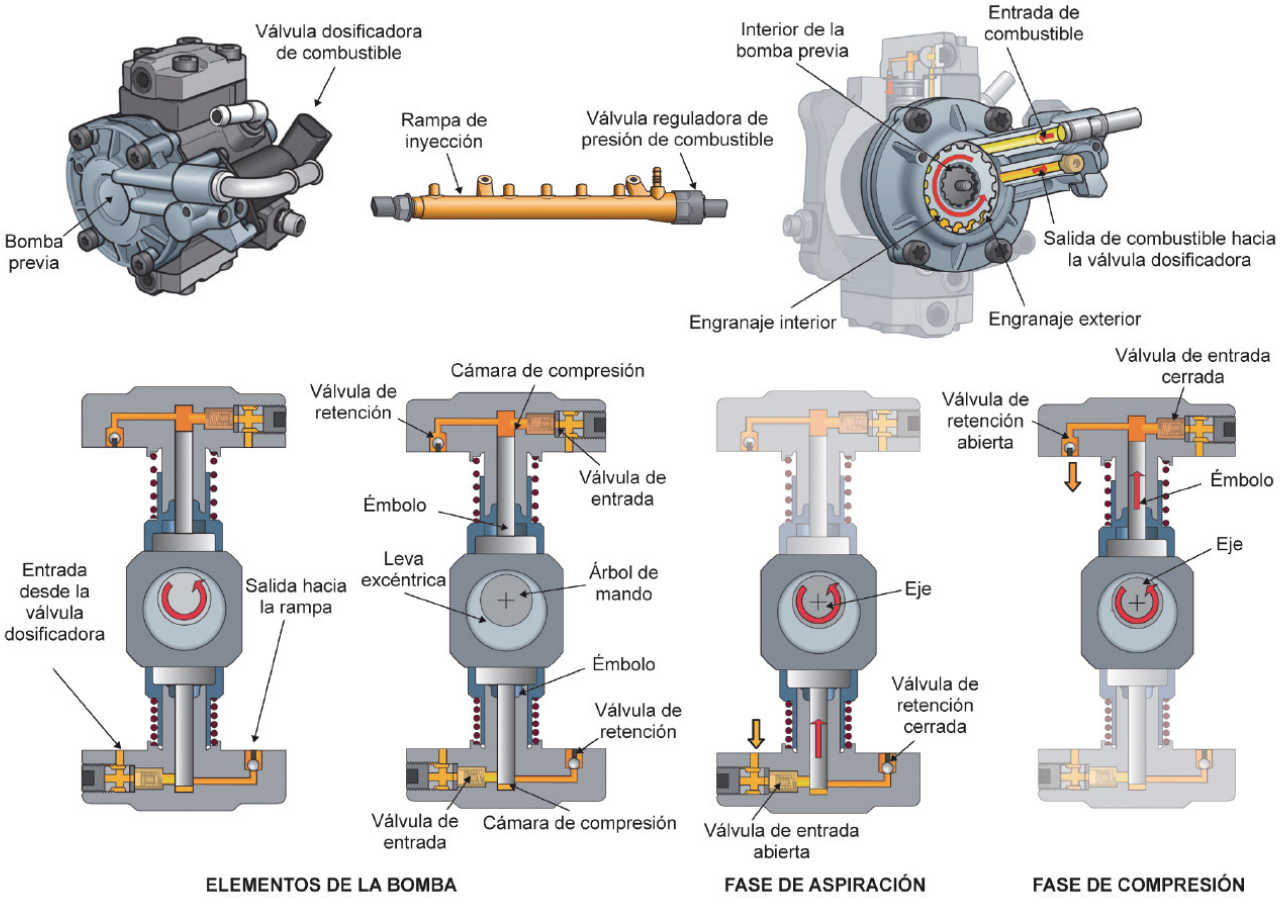


Figura 11.139. *Bomba de alta presión de dos émbolos opuestos.*

© Ediciones Paraninfo

En el tramo de baja presión, la bomba eléctrica del depósito suministra el combustible a la entrada de la bomba previa a una presión de entre 0,6 y 0,8 bar. La bomba previa alimenta a la bomba de alta presión a unos 5 bar. Esta bomba suele ser de engranajes, accionada por la correa de la distribución, junto con la bomba de alta presión, y asegura a esta un suministro de combustible en todas las condiciones operativas del motor. Posteriormente, la bomba de alta presión envía el combustible a la rampa de inyección a una presión que puede superar los 1600 bar. Está formada por dos émbolos opuestos, de forma que por cada vuelta del árbol de mando, se realiza un ciclo de aspiración y otro de compresión. En la fase de aspiración, el émbolo aumenta el volumen de la cámara de compresión, abriendo la válvula de entrada y cerrando la de retención. De esta forma, el combustible se introduce en la cámara de compresión. En la fase de compresión, el émbolo disminuye el volumen de la cámara, presurizando el combustible, por lo que la válvula de entrada se cierra y la de retención se abre, saliendo el combustible hacia la rampa. Este sistema incorpora una válvula dosificadora en el cuerpo de la bomba, controlada por la unidad de control, que regula la cantidad de combustible que la bomba previa suministra a la de alta presión. La válvula reguladora de la presión de combustible se instala en un extremo de la rampa de inyección, es gobernada por la unidad de control y limita la presión en la rampa comunicando esta con el retorno según las condiciones de funcionamiento.

Sabías que...

La instalación de una bomba mecánica previa a la bomba de alta presión se puede encontrar en otro tipo de bombas.

Este tipo de bombas tienen que ir sincronizadas con el cigüeñal para mantener una presión de combustible constante y evitar las caídas de presión debidas a la apertura de los inyectores.

– **Bombas de un único émbolo:** la constitución y funcionamiento de esta bomba se explica a través de la Figura 11.140. Una bomba eléctrica previa alimenta de combustible a la bomba de alta presión, a unos 5 bar y de forma constante. La válvula hidráulica de rebose mantiene una presión de alimentación constante de unos 4,3 bar, ya que cuando se supera esta presión, abre el conducto de retorno. La válvula dosificadora de combustible, gobernada por la unidad de control, regula el caudal que llega hasta la válvula de aspiración. En la fase aspirante, el muelle del émbolo hace que este aumente el volumen de la cámara de compresión, al estar en contacto el rodillo con la parte plana del árbol de mando. La válvula de aspiración se abre y la cámara se llena de combustible. En la fase de compresión, el rodillo es atacado por el perfil del árbol de mando, empujando el émbolo y reduciendo el volumen de la cámara de compresión. El combustible se presuriza y se abre la válvula de salida hacia la rampa, permaneciendo cerrada la válvula de aspiración.

Estos sistemas pueden tener una bomba eléctrica de trasvase desde el depósito de combustible y una bomba eléctrica previa, que asegura un suministro correcto a la bomba de alta presión.

Sabías que...

Existen sistemas que incorporan en el colector de admisión unas chapaletas que ofrecen al aire de admisión una turbulencia espiroidal. Estas chapaletas se unen a un eje que es movido por un motor eléctrico gobernado por la unidad de control. Un potenciómetro incorporado en dicho motor informa de la posición de las chapaletas teniendo cerrado el lazo de regulación automática. Al ralentí y a regímenes de giro bajos, las chapaletas permanecen cerradas, haciendo que todo el aire pase por el conducto de turbulencia espiroidal. Así, aumenta la velocidad del aire a la entrada del cilindro, ya que todo el flujo pasa por un conducto en vez de dos, que además le otorga turbulencia. A regímenes de motor medios y altos las chapaletas se abren, incrementando la sección de paso de aire. Su apertura es progresiva y a partir de 3000 rpm abren totalmente.

- **Inyectores piezoeléctricos:** en los sistemas *common rail* también pueden montarse inyectores piezoeléctricos. Un ejemplo de este tipo de inyector y sus partes fundamentales aparecen en la Figura 11.141.

  El funcionamiento del inyector piezoeléctrico se explica a través de la Figura 11.142. Su función hidráulica es muy parecida a la de los inyectores de accionamiento electromagnéticos, salvo que la válvula que abre el retorno de combustible es de accionamiento piezoeléctrico. El elemento piezoeléctrico se integra en el llamado módulo actuador, que cuando lo activa la unidad de control, abre la válvula de conmutación. Entre el módulo actuador y la válvula de conmutación se interpone el módulo acoplador, que es un elemento hidráulico que compensa las dilataciones longitudinales por efecto de la temperatura. Cuando la unidad de control excita al actuador piezoeléctrico, este se dilata y empuja el módulo acoplador, abriendo la válvula de conmutación, que cierra el by-pass. El combustible de la cámara de control

© Ediciones Paraninfo

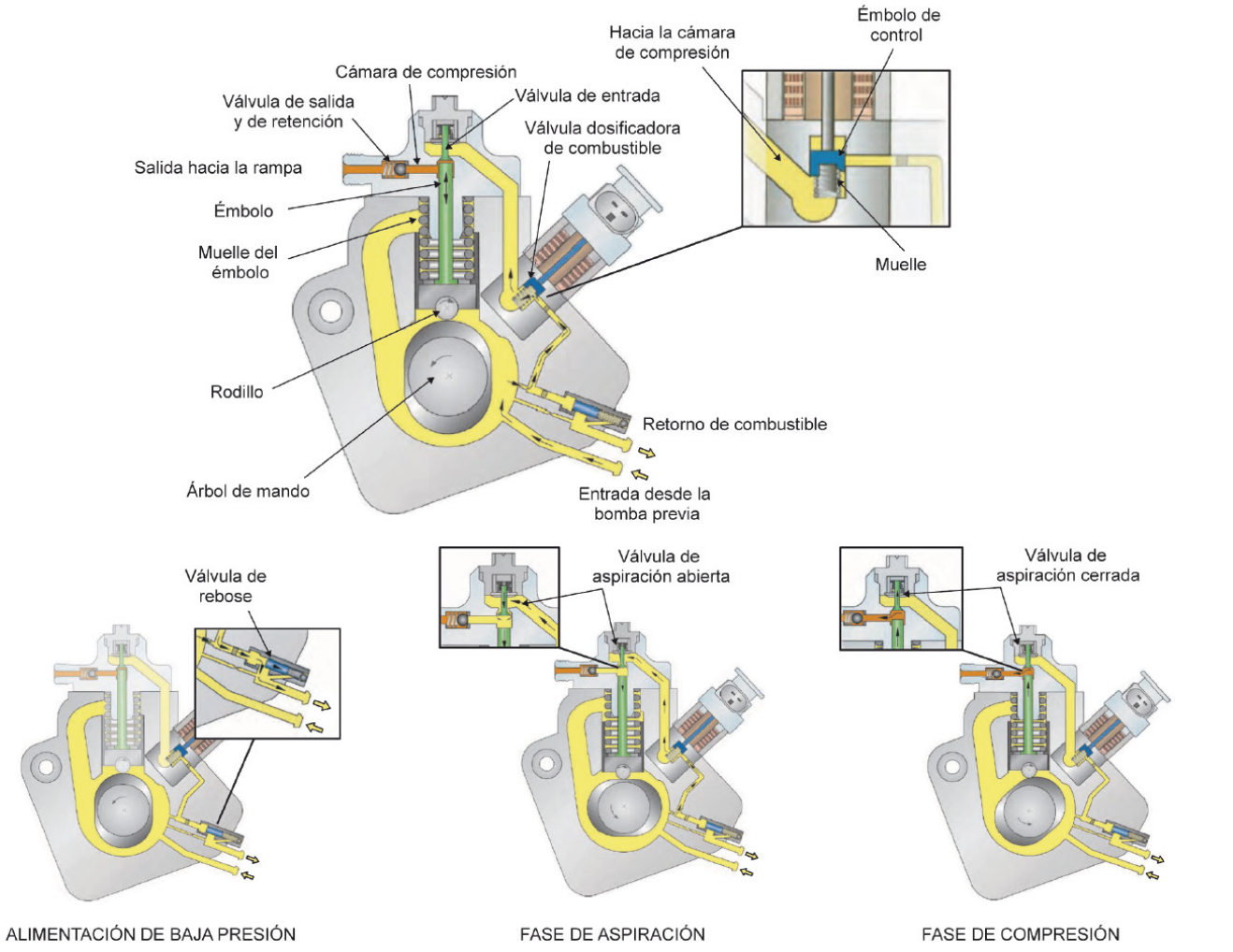


Figura 11.140. *Bomba de alta presión de un único émbolo.*

sale por el orificio de escape y por la válvula de conmutación. En estas circunstancias, la presión en la cámara de control desciende y la aguja de la tobera se levanta de su asiento por diferencia de presiones. Cuando la unidad de control interrumpe la alimentación del actuador, este se contrae, retrocediendo el módulo acoplador. Esto hace que el muelle de la válvula de conmutación provoque su cierre y se abra el by-pass. El combustible entra en la cámara de control desde el by-pass por el conducto de escape, y por otro lado a través del estrangulador. De esta forma se igualan las presiones y el inyector cierra.

El módulo acoplador funciona de la forma que se explica a continuación. El actuador piezoeléctrico está por encima del émbolo superior. Por otro lado, el émbolo inferior se sitúa por encima de la válvula de conmutación. La fuerza de los dos muelles inferiores elimina el juego entre el actuador piezoeléctrico y la válvula de conmutación. Cuando se activa el actuador, el émbolo superior comprime la cámara del acoplador. Como el diámetro del émbolo superior es mayor que el del inferior, se vence la fuerza de los muelles inferiores y se abre la válvula de conmutación. Una pequeña fuga hacia el retorno es permitida a través del juego existente entre el émbolo y su guía. Al dejar de excitar al actuador, se recupera el juego causado por la fuga de combustible al retorno por medio de los muelles inferiores, a la vez que se vuelve a llenar la cámara del acoplador. Para que el acoplador funcione necesita dos condiciones fundamentales. La primera es que la presión de retorno sea de al menos 10 bar, consiguiéndose gracias a un estrangulador instalado en el inyector. La segunda es que exista presión de alimentación.

Los inyectores piezoeléctricos tienen un funcionamiento más rápido y realizan una dosificación más precisa. Por otro lado, son más pequeños, pesan menos y necesitan una menor energía para su activación.

© Ediciones Paraninfo

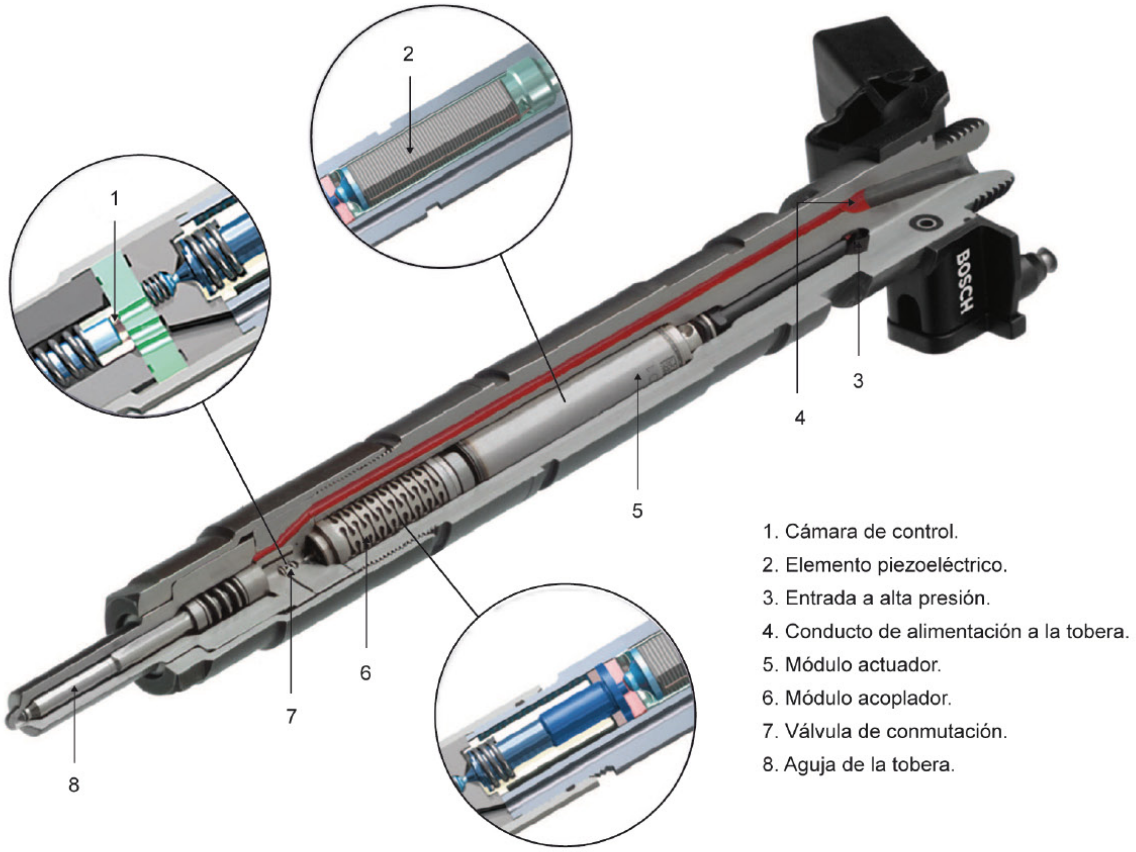


Figura 11.141. *Inyector piezoeléctrico de un sistema common rail.*

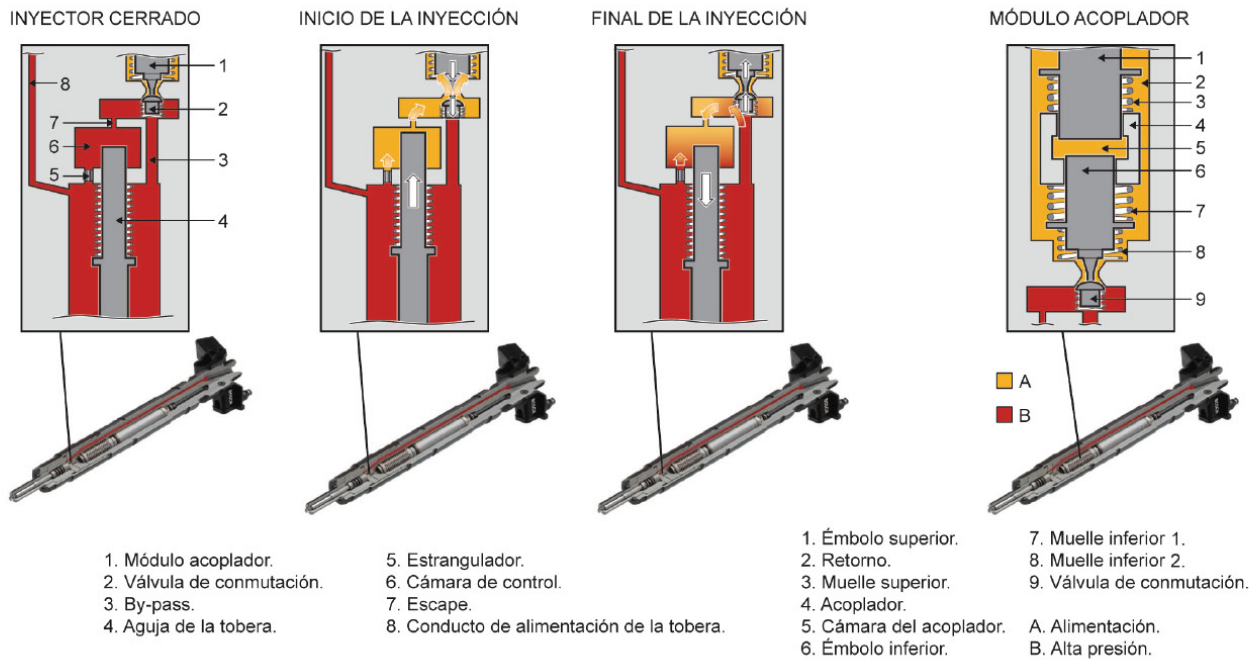


Figura 11.142. *Funcionamiento de un inyector piezoeléctrico de un sistema common rail.*

© Ediciones Paraninfo

11.6.3. Mantenimiento, averías y comprobaciones

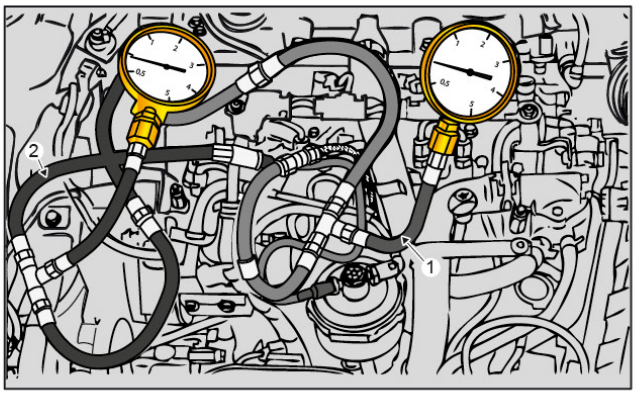
Las operaciones de mantenimiento en los sistemas de inyección *common rail* difieren poco de las que se realizan en otros sistemas de inyección diésel, debiendo consultar el manual del fabricante para conocer los intervalos prescritos.

A continuación se va a explicar un procedimiento genérico de diagnosis, basado en un sistema de la marca Bosch implementado en algunos motores del grupo PSA. Aunque las operaciones y valores de medición se basan en una aplicación real, deberá consultarse la documentación técnica del sistema particular a inspeccionar.

Antes de cualquier intervención, hay que tener en cuenta que se está manipulando un sistema que trabaja con altas presiones de combustible, por lo que existen riesgos de sufrir daños si no se toman las debidas precauciones. Algunas precauciones a tomar son las siguientes:

- No manipular el circuito de alta presión con el motor arrancado.
- Al parar el motor, esperar un mínimo de 30 segundos antes de cualquier operación, ya que es el tiempo que tarda en reducirse la alta presión a valores atmosféricos.
- No aplicar tensión de batería directa a los inyectores, ya que podrían sufrir daños irreversibles y quedar inutilizables.
- Antes de aflojar un racor o desmontar un inyector, hay que limpiarlos con un desengrasante adecuado, protegiendo las conexiones eléctricas.
- Tras desacoplar una tubería de combustible, hay que taponarla para evitar que entre suciedad.
- Tras el desmontaje de un inyector, siempre se sustituirá la junta, el retén y la tuerca de fijación.
- No se deben desmontar los racores de las salidas hacia los inyectores de la rampa de inyección.
- No hay que desacoplar de la bomba de alta presión el regulador de presión, el desactivador del tercer pistón, el retén o el racor de salida hacia la rampa de inyección.
- Después de cualquier intervención hay que comprobar la estanqueidad del circuito.

- **Comprobaciones del circuito de combustible:**
  - **Circuito de baja presión:** para hacer esta comprobación es necesario instalar dos manómetros, escalados hasta 5 bar y conectarlos como muestra la Figura 11.143. El montaje es en derivación, de forma que uno de ellos se ubica en la tubería de alimentación, entre la bomba de alimentación y el filtro, y otro en el conducto de retorno, entre la bomba de alta presión y el filtro. Se deben tener medidas de presión de alimentación y de retorno con el motor parado y en funcionamiento. Posteriormente se compararán con los datos ofrecidos por el fabricante. Si al parar el motor, la presión residual es inferior a la prescrita, se arranca el motor y se pinza la tubería entre la bomba eléctrica y el filtro. Si al volver a parar el motor el valor se mantiene, hay que sustituir la bomba eléctrica de alimentación por fallo de su válvula antirretorno.



1. Manómetro para la medición de la presión de alimentación.
2. Manómetro para la medición de la presión de retorno.

Figura 11.143. *Instalación de los manómetros de comprobación del circuito de baja presión.*

  - **Circuito de alta presión:** la verificación de este circuito se podría realizar con un manómetro a la entrada de la rampa de inyección, pero constituye una operación muy peligrosa. Por este motivo existen equipos especiales o bien se puede emplear la máquina de diagnosis. En cualquier caso, en la fase de arranque, a unas 200 rpm, la presión debe superar 150 bar. Posteriormente, al ralentí, la presión debe ser de 300 bar y aumentar en función de la carga de motor.

Recuerda que...

Antes de proceder a la verificación del sistema de gestión electrónica, hay que asegurar que el circuito de combustible funciona correctamente.

Recuerda que...

Antes de iniciar la inspección del sistema de gestión electrónica, es necesario el esquema eléctrico y los datos técnicos del vehículo.

© Ediciones Paraninfo

- **Comprobaciones del sistema de gestión electrónica:**
  - **Relé doble:** se encarga de alimentar a la unidad de control y a la bomba eléctrica de combustible. El relé de la unidad de control se alimenta a través de un positivo de batería, pasando previamente por el sensor de impacto, cerrando el circuito a masa la unidad de control. Al arrancar el motor, la unidad de control detecta que el motor está en fase de puesta en marcha y reconoce la autorización por parte del inmovilizador electrónico. De esta forma, permite el cierre a masa del circuito. En ese momento, el relé se activa y la corriente alimenta a la unidad de control, a cada uno de los sensores y al positivo de la bomba eléctrica. Como el motor está en fase de arranque, la unidad de control alimenta al relé de la bomba de forma continua.

El sensor de impacto o contactor de inercia interrumpe la masa de uno de los circuitos de mando del relé doble para dejar de alimentar a la bomba eléctrica, en caso de un choque del vehículo en el que se experimente una deceleración superior a 8 g. En caso de que el vehículo pueda seguir circulando, este dispositivo se puede rearmar apretando el pulsador del contactor.

  - **Medidor de la masa de aire:** está formado por seis vías, dos para el sensor de temperatura del aire, un positivo de alimentación a la unidad de control, dos masas y la información de caudal de aire. La alimentación al sensor se puede medir con un voltímetro, verificando que le llega tensión de batería. Con el mismo aparato se puede comprobar la información de caudal de aire, variando la tensión desde 0,1 V a ralentí hasta unos 4,7 V a plena carga. Para comprobar el sensor de temperatura del aire, se quita el conector y se mide su resistencia, que debe valer unos 2500 Ω a 20 °C y 300 Ω a 80 °C.

Recuerda que...

Una resistencia de tipo NTC disminuye su valor óhmico conforme aumenta la temperatura.

  - **Sensor de régimen de giro:** se encarga de registrar la velocidad de rotación del motor y la posición angular del cigüeñal. En caso de avería en este dispositivo, el motor no arranca o si está en funcionamiento se para. Para su comprobación se puede emplear un voltímetro, midiendo la tensión generada. Como es un sensor inductivo, la tensión tiene que aumentar con el régimen de giro del motor. A modo de referencia, a la velocidad de arranque se debe leer una tensión de aproximadamente 1 V y al régimen de ralentí de 5 V. La verificación también puede llevarse a cabo con un osciloscopio, observando que la señal varía en amplitud y fase en función del régimen de giro. Además puede comprobarse el cambio de la forma de onda cuando se enfrentan los dientes dobles opuestos 180°. Otra verificación posible es la del entrehierro, que aunque no es ajustable, su valor debe oscilar entre 0,5 y 1,5 mm. Esta separación se mide empleando un juego de galgas.
  - **Sensor Hall:** en caso de que se averíe este dispositivo, el motor se para o no arranca ya que la unidad de control no sabe en qué cilindro se tiene que producir la inyección. Este sensor se alimenta por el relé de inyección y el circuito se cierra a masa por la unidad de control. Su verificación consiste en medir la tensión con un voltímetro, o la forma de su señal con un osciloscopio. De esta forma, debe observarse que los impulsos de tensión valen 0 V cuando el captador está enfrentado con una parte metálica y 5 V cuando está enfrentado con una ventana. El entrehierro es ajustable y debe valer entre 1,2 y 1,3 mm.
  - **Sensor de posición del acelerador:** en caso de fallo, el sistema entra en un modo de emergencia en el que el motor funciona correctamente a cargas parciales, pero sus prestaciones están limitadas en cuanto a aceleración y velocidad máxima. Su comprobación se hace colocando dos voltímetros en los terminales de información. Sin accionar el pedal, en uno de los terminales debe leerse unos 0,5 V y en el otro unos 0,28 V. Con el pedal pisado a fondo, se debe registrar en uno de los terminales aproximadamente 3,4 V y en el otro alrededor de 1,5 V. Con un osciloscopio se puede comprobar que la tensión aumenta progresivamente y sin saltos entre la posición de reposo y la de plena carga.
  - **Sensor de temperatura del líquido refrigerante:** este sensor suele tener cuatro terminales, dos para la información de temperatura del cuadro de instrumentos y dos para la unidad de control. Para su comprobación se mide la resistencia a diferentes temperaturas, comprobando los resultados obtenidos con los valores del fabricante.

Recuerda que...

La señal de temperatura del líquido refrigerante es importante porque con ella la unidad de control regula el tiempo de precalentamiento, el régimen de ralentí, el funcionamiento del sistema EGR y la puesta en marcha del electroventilador.

  - **Sensor de presión en el colector de admisión:** este dispositivo se alimenta de la unidad de control a unos

© Ediciones Paraninfo

5 V y tiene un terminal de información. A modo de referencia, si la presión en el colector de admisión es de 1 bar, a través de dicho terminal debe registrarse unos 2,3 V. De la misma forma a 1,5 bar la tensión es de unos 3,2 V y a 2 bar de 4 V.

– **Sensor de presión de combustible:** sin la información de este sensor el motor reduce sus prestaciones y la unidad de control no puede regular la presión de sobrealimentación. Tiene tres terminales, dos de alimentación de 5 V procedente de la unidad de control y otro de información. Si se conecta un voltímetro a este último terminal, se debe leer una tensión de 1 V durante la fase de arranque y con el motor en marcha una tensión que puede variar de 0,3 a 4,7 V. Por otro lado, su valor óhmico es de entre 600 y 650 Ω.

Sabías que...

El sensor de alta presión de combustible suele ser de tipo piezoeléctrico.

– **Conmutador de pedal de freno:** la unidad de control recibe de este sensor una información de positivo de batería. Su funcionamiento se puede comprobar con un voltímetro, de forma que con el pedal pisado se deben registrar 12 V y con el pedal suelto 0 V.

– **Conmutador de pedal de embrague:** cuando el pedal de embrague es accionado, conmuta a masa el terminal de información con la unidad de control. Con el uso de un voltímetro se comprueba que con el pedal pisado se leen 0 V y con el pedal suelto 12 V.

– **Sensor de temperatura de combustible:** una de las verificaciones posibles es la de alimentación. Retirando el conector del dispositivo, con un voltímetro entre los terminales correspondientes, debe comprobarse que la unidad de control suministra 5 V. A modo de referencia, los valores óhmicos en función de la temperatura son, a 25 °C unos 2400 Ω y a unos 80 °C 270 Ω.

– **Regulador de presión de combustible:** su tensión de alimentación es la de batería. Cuando el regulador está en reposo, la presión está limitada a unos 100 bar. Cuando pasan al menos 30 segundos tras haber parado el motor, la presión ha de ser nula. El valor óhmico de la electroválvula oscila entre 2 y 3 Ω.

– **Desactivador del tercer pistón:** es alimentado por la segunda etapa del relé doble a una tensión de 12 V y su resistencia es de alrededor de 25 Ω.

- **Comprobación de los inyectores:** el valor óhmico de la electroválvula, si los inyectores son de accionamiento electromagnético, es de alrededor de 0,4 Ω. Con un osciloscopio debe verificarse su ciclo de trabajo. La unidad de control regula la duración del impulso de mando enviado al inyector, en función del cual varía el inicio y el tiempo de inyección. Debido a las tolerancias generadas durante el proceso de fabricación del inyector, la cantidad de combustible inyectada varía ligeramente de su valor teórico. Esta desviación se determina tras la fabricación de cada inyector, realizando medidas en diferentes puntos de funcionamiento. El resultado de dichas medidas es un código propio para cada inyector, que queda registrado en la unidad de control con el fin de que esta corrija los valores teóricos calculados para cada cilindro. Estas correcciones son de las magnitudes eléctricas y de las magnitudes mecánicas. El código del inyector se conoce como IMA o ISA, dependiendo de si es de accionamiento electromagnético o piezoeléctrico, pudiendo variar el número de caracteres. La Figura 11.144 muestra un ejemplo de código de referencia del inyector y de código IMA. Cuando hay que sustituir algún inyector, debe asegurarse el registro de su código en la unidad de control para el cilindro correspondiente. Esta operación hay que realizarla con máquina de diagnosis y es obligatoria también en caso de sustituir la unidad de control.

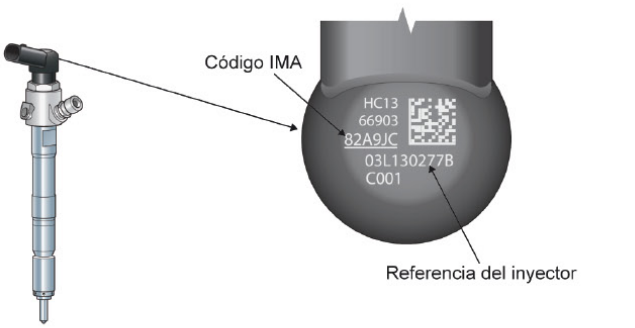


Figura 11.144. *Ejemplo de referencia de inyector y código IMA.*

Recuerda que...

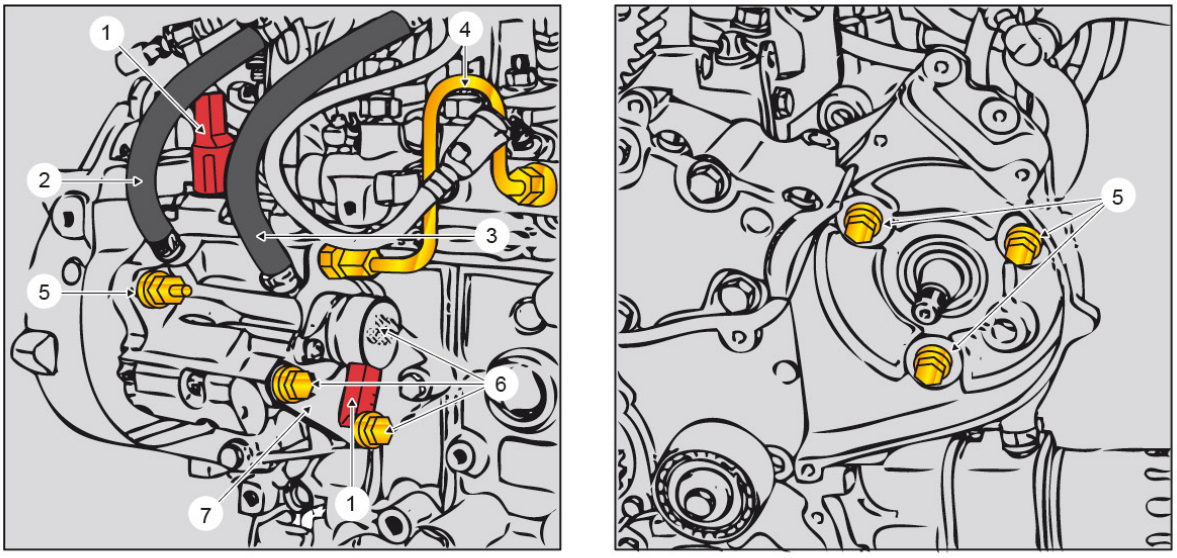
En caso de desmontar un inyector siempre hay que reponer las juntas. Si hubiera que rectificar el plano de junta de la culata, hay que sustituir las juntas de los inyectores por otras de sobremedida en altura.

Sabías que...

El código IMA o ISA del inyector puede obtenerse con un lector de códigos QR.

© Ediciones Paraninfo

- **Desmontaje y montaje de la bomba de alta presión:** el procedimiento genérico de desmontaje de la bomba a presión, representado en la Figura 11.145, es el siguiente:
  - **Desmontaje:**
    - » Desconectar la batería.
    - » Retirar la correa de la distribución.
    - » Desconectar las conexiones eléctricas.
    - » Desacoplar los conductos de alimentación, retorno y alta presión.
    - » Inmovilizar la polea de la bomba para aflojar su tuerca de fijación al árbol de mando.
    - » Desmontar la polea de la bomba con un extractor adecuado.
    - » Retirar los tornillos de fijación delanteros y traseros, así como su soporte.
  - **Montaje:**
    - » Comenzar en orden inverso al desmontaje.
    - » Sustituir el conducto de alta presión.
    - » Una vez instalada la bomba, accionar varias veces el contacto, para que se ponga en funcionamiento la bomba eléctrica de alimentación y se purgue el aire.
    - » Comprobar la estanqueidad del circuito.



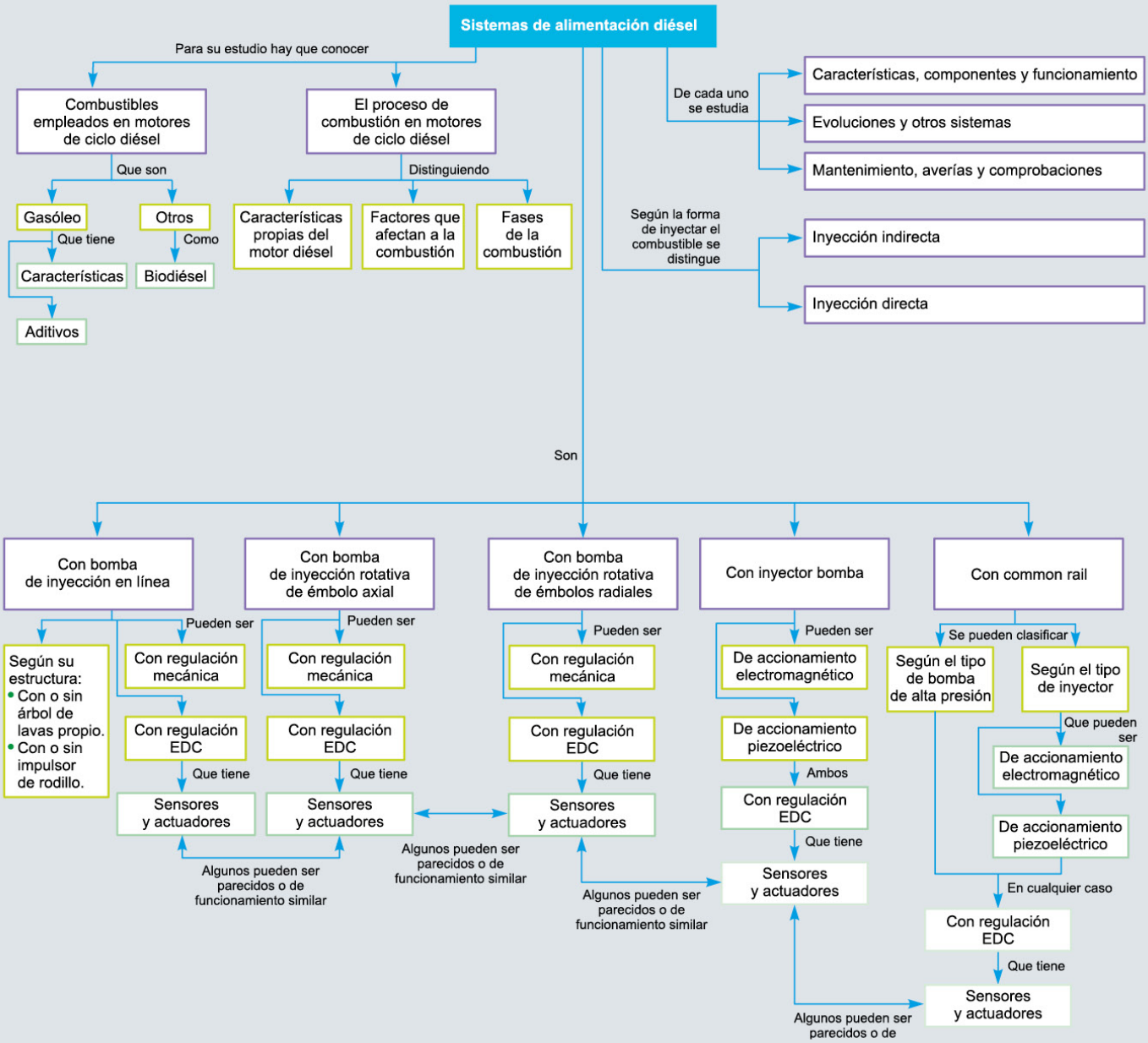
1. Conectores eléctricos.
2. Conducto de alimentación.
3. Conducto de retorno.
4. Conducto de alta presión.
5. Tornillos de fijación delanteros.
6. Tornillos de fijación traseros.
7. Soporte trasero.

Figura 11.145. *Procedimiento genérico de desmontaje de la bomba de alta presión.*

© Ediciones Paraninfo

SÍNTESIS

Sistemas de alimentación diésel



© Ediciones Paraninfo

COMPRUEBA

11.1. El gasóleo debe tener:

a) Una reducida tendencia a la autoinflamación.

b) Una alta tendencia a la autoinflamación.

c) Un alto poder antidetonante.

d) El gasóleo no debe autoinflamarse.

11.2. Un índice de cetano alto implica que:

a) El gasóleo tiene una mayor tendencia a la autoinflamación.

b) El motor funciona de forma más suave.

c) Se mejora el arranque en frío.

d) Todas las anteriores.

11.3. El biodiésel, en comparación con el gasóleo:

a) Tiene un menor índice de cetano.

b) Tiene mayor poder calorífico.

c) No tiene azufre.

d) Todas las anteriores.

11.4. El dosado relativo en un motor diésel está limitado a:

a) 0,6.

b) 0,8.

c) 1,0.

d) 1,2.

11.5. En los sistemas de inyección diésel con bomba de inyección en línea, la bomba de transferencia suministra combustible a una presión de:

a) Entre 0,1 y 0,5 bar.

b) Entre 0,5 y 1 bar.

c) Entre 1 y 2 bar.

d) Entre 4 y 5 bar.

11.6. En una bomba de inyección en línea, cuando la ranura vertical del émbolo está enfrentada con la de descarga del cilindro, se tiene:

a) Alimentación nula.

b) Alimentación parcial.

c) Alimentación total.

d) Depende de la posición del acelerador.

11.7. En una bomba de inyección rotativa de émbolo axial, el disco de levas y el émbolo distribuidor tienen un movimiento:

a) De rotación.

b) De desplazamiento axial.

c) a y b son correctas.

d) Estos dos elementos siempre permanecen fijos.

11.8. En caso necesario, el collarín, el émbolo distribuidor y el cuerpo de la cabeza distribuidora de una bomba de inyección rotativa de émbolo axial:

a) Se pueden sustituir por separado.

b) Hay que sustituirlos en conjunto.

c) El collarín y el émbolo distribuidor se sustituyen en conjunto.

d) El émbolo distribuidor y el cuerpo de la cabeza distribuidora se sustituyen en conjunto.

11.9. El variador de avance de una bomba de inyección rotativa de émbolo axial actúa sobre:

a) El émbolo distribuidor.

b) El disco de levas.

c) El anillo de rodillos.

d) Las válvulas de suministro.

11.10. El dispositivo compensador de la presión de carga se conoce como:

a) LDA.

b) LFB.

c) ADA.

d) KSB.

11.11. El valor óhmico del sensor de carrera de la aguja es:

a) Entre 9 y 15 Ω.

b) Entre 90 y 150 Ω.

c) Entre 900 y 1500 Ω.

d) Entre 9 y 15 kΩ.

11.12. Si en un sistema con bomba de inyección rotativa de émbolo axial con regulación EDC se avería el sensor de posición del collarín de regulación:

a) La unidad de control conmuta a un modo de emergencia.

b) La unidad de control toma un valor sustitutivo del sensor de posición del acelerador.

c) a y b son correctas.

d) El motor se para.

11.13. En una bomba de alimentación rotativa de émbolos radiales, como la Lucas CAV de tipo DPC, el dispositivo corrector de sobrealimentación, desde un punto de vista hidráulico, se instala:

a) Entre el variador de avance y el dispositivo de sobreavance en frío.

© Ediciones Paraninfo

b) Entre el variador de avance y el dispositivo de avance con carga parcial.

c) Entre la válvula de presión diferencial y el dispositivo de sobrecarga en el arranque.

d) Ninguna de las anteriores.

11.14. ¿Cuáles de los siguientes componentes del sistema de inyección con bomba rotativa de émbolos radiales y regulación electrónica puede causar el encendido del testigo de avería?

a) El sensor de régimen de giro.

b) El sensor de posición de la bomba.

c) La electroválvula de menos caudal.

d) Todas las anteriores.

11.15. La presión de alimentación de combustible en un sistema con inyector-bomba está limitada aproximadamente a:

a) 0,75 bar.

b) 1,5 bar.

c) 7,5 bar.

d) 15 bar.

11.16. La preinyección del combustible conlleva:

a) Un proceso de combustión más suave.

b) Una reducción del tiempo de retraso.

c) Una reducción del ruido del motor.

d) Todas las anteriores.

11.17. Los inyectores-bomba de accionamiento piezoeléctrico pueden alcanzar una presión de inyección máxima de:

a) 1800 bar.

b) 2050 bar.

c) 2200 bar.

d) 2800 bar.

11.18. La bomba eléctrica de alimentación de un sistema de inyección *common rail* puede ser:

a) De rodillos.

b) De rotor.

c) Helicoidal.

d) Todas las anteriores.

11.19. La rampa de inyección de un sistema *common rail* se fabrica:

a) En aluminio de alta resistencia.

b) En acero forjado.

c) a y b son correctas.

d) En PVC.

11.20. El valor óhmico de la electroválvula de los inyectores de un sistema *common rail,* cuyo funcionamiento es electromagnético, es aproximadamente de:

a) 0,4 Ω.

b) 4 Ω.

c) 40 Ω.

d) 4 kΩ.

REALIZA

11.21. Realizar el desmontaje de una bomba de inyección en línea e identificar todos sus componentes, explicando el funcionamiento de su regulador centrífugo.

11.22. Elaborar una clasificación de las evoluciones de las bombas de inyección rotativas de émbolo axial, indicando las diferencias entre cada una de ellas y las mejoras introducidas.

11.23. Desmontar una bomba de émbolos radiales, identificando y explicando el funcionamiento de todos sus dispositivos.

11.24. Tomar un vehículo o maqueta que incorpore un sistema con inyector-bomba y comprobar todos los elementos del sistema de gestión electrónica, ayudándose de la documentación técnica del fabricante. Se recomienda utilizar una caja de bornes, un polímetro y un osciloscopio.

11.25. Buscar un vehículo con sistema de inyección *common rail* e identificar todos sus componentes, mecánicos, hidráulicos y los necesarios para la gestión electrónica. Realizar un esquema del sistema hidráulico y eléctrico. Analizar el tipo de bomba de alta presión que lleva instalada.

© Ediciones Paraninfo

Sistemas de sobrealimentación

12

CONTENIDOS

12.1. Introducción a la sobrealimentación
12.2. Tipos de compresores
12.3. Los turbocompresores en motores de gasolina
12.4. Los turbocompresores en motores diésel
12.5. Combinación de compresores
12.6. Mantenimiento, averías y comprobaciones

OBJETIVOS

- Analizar los diferentes sistemas de sobrealimentación.
- Describir los dispositivos de regulación de los sistemas de sobrealimentación.
- Estudiar las diferentes combinaciones de compresores que puede montar un motor térmico.
- Conocer las operaciones más comunes sobre los sistemas de sobrealimentación.

Una forma relativamente sencilla de incrementar la potencia específica de un motor térmico es aumentar la densidad del aire de admisión. Para ello hay que presurizarlo utilizando un sistema de sobrealimentación.

A lo largo de este capítulo se van a tratar los sistemas de sobrealimentación más utilizados en vehículos automóviles, explicando los diferentes tipos de compresores, tanto mecánicos como turbocompresores, así como su regulación y posibles combinaciones de los mismos. Al final se hará un repaso de las operaciones más habituales sobre el sistema de sobrealimentación.

12.1. Introducción a la sobrealimentación

Existe un limitado número de posibilidades para aumentar la potencia de un motor térmico. De entre ellas hay que destacar el aumento de la cilindrada, el aumento de ciclos por unidad de tiempo y el aumento del llenado. La construcción de motores de gran cilindrada incrementa su peso, dimensiones y rozamientos, lo que ocasiona un consumo de combustible elevado. Realizar más ciclos por unidad de tiempo significa aumentar el régimen de giro, y, como es sabido, está limitado para evitar un desgaste excesivo del motor. Por último, para mejorar el llenado del cilindro se puede aumentar la densidad del aire de admisión, presurizándolo a través de un compresor.

Recuerda que...

El grado de admisión, la forma y secciones de paso de las válvulas, la geometría del colector de admisión y el diagrama de distribución son también factores que afectan al rendimiento volumétrico o llenado del motor. Para optimizar este, pueden emplearse además colectores de admisión variable o sistemas de distribución variable.

La densidad del aire depende de la altitud o presión atmosférica y de la temperatura. El factor de corrección de la potencia del motor para normalizarla a las condiciones de ensayo de la norma DIN, a la presión de 760 mmHg y 20 °C es:

$$N_{corr} = k \cdot N$$

$$k = \frac{760}{P_{atm\ mmHg}} \cdot \sqrt{\frac{273 + T_{ambiente\ ºC}}{293}}$$

Donde:

N_{corr} es la potencia corregida a las condiciones normalizadas.

N es la potencia del motor en las condiciones dadas.

k es el factor de corrección a aplicar.

Suponiendo que un motor ofrece una potencia normalizada, si se quiere saber la potencia que entrega en otras condiciones, hay que aplicar la fórmula de la siguiente forma:

$$N = \frac{N_{corr}}{k}$$

Por otro lado, la densidad del aire se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\rho_{aire} = \frac{P}{R_{aire} \cdot T}$$

Donde:

ρ_{aire} es la densidad del aire, en $\frac{kg}{m^3}$.

P es la presión atmosférica, en Pa.

R_{aire} es la constante del aire, que es 287 $\frac{J}{kg\ ºK}$.

T es la temperatura ambiente, en ºC.

Para estudiar la influencia de la presión atmosférica y de la temperatura se va a suponer que un motor que tiene una potencia normalizada de 110 kW funciona en cuatro condiciones climáticas distintas:

- Presión atmosférica de 760 mmHg y temperatura ambiente de −20 °C.
- Presión atmosférica de 760 mmHg y temperatura ambiente de 40 °C.
- Presión atmosférica de 850 mmHg y temperatura ambiente de 20 °C.
- Presión atmosférica de 700 mmHg y temperatura ambiente de 20 °C.

Resolviendo el primer caso, para 850 mmHg y −20 °C, se tiene:

$$k = \frac{760}{760} \cdot \sqrt{\frac{273 - 20}{293}} \quad \Rightarrow \quad k = 0{,}93$$

$$N = \frac{N_{corr}}{k} = \frac{110\ [kW]}{0{,}93} \quad \Rightarrow \quad N = 118{,}38\ kW$$

$$\rho_{aire} = \frac{P}{R_{aire} \cdot T} = \frac{760\ [mmHg] \cdot \frac{10^5}{760} \left[\frac{Pa}{mmHg}\right]}{287 \left[\frac{J}{kg\ ºK}\right] \cdot (273 - 20)\ [ºK]}$$

$$\rho_{aire} = 1{,}38\ \frac{kg}{m^3}$$

Si se procede de la misma forma para el resto de casos, se puede rellenar la Tabla 12.1.

A la vista de los resultados anteriores, queda demostrado que la potencia del motor aumenta conforme lo hace la densidad del aire. Por otro lado, si la presión atmosférica aumenta y la temperatura ambiente disminuye, aumenta la densidad del aire y, por tanto, la potencia del motor.

La sobrealimentación permite introducir una mayor cantidad de mezcla en un motor de gasolina, produciendo una combustión más enérgica. En un motor diésel, además,

© Ediciones Paraninfo

TABLA 12.1

Variación de la potencia y densidad del aire de un motor cuya potencia normalizada es de 110 kW a 760 mmHg y 20 °C, con una densidad del aire de 1,19 kg/m^3			
P_{atm} [mmHg]	T_{amb} [°C]	N [kW]	ρ_{aire} [kg/m^3]
760	–20	118,38	1,38
760	40	106,43	1,11
850	20	123,03	1,33
700	20	101,32	1,10

al forzar la entrada de aire en el cilindro, este se arremolina favoreciendo la formación de la mezcla, la combustión y, en consecuencia, se reducen las emisiones contaminantes.

12.2. Tipos de compresores

Antes de proceder a la clasificación y estudio de los compresores, conviene definir algunos parámetros importantes de los mismos:

- **Relación de compresión:** es la relación existente entre la presión del aire a la salida del compresor y la presión a la entrada del mismo. Se define por la siguiente fórmula:

$$\pi = \frac{P_2}{P_1}$$

Donde:

π es la relación de compresión del compresor, adimensional.

P_2 es la presión del aire a la salida del compresor.

P_1 es la presión del aire a la entrada del compresor.

Suponiendo que la presión a la entrada del compresor es la atmosférica y esta toma el valor de 1 bar, $P_1 = 1$ bar. Si la presión a la salida del compresor es de 1,6 bar, $P_2 = 1{,}6$ bar. Entonces la relación de compresión del compresor es $\pi = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1{,}6}{1} \Rightarrow \pi = 1{,}6$, lo que significa que el compresor aumenta la presión de entrada 1,6 veces. Hay que destacar que 1,6 bar es la presión absoluta a la salida del compresor y de ella, 1 bar es aportado por la atmósfera y 0,6 por el compresor.

- **Rendimiento del compresor:** el rendimiento de un compresor es la relación entre la temperatura del aire a la salida del mismo, calculada teóricamente a partir de las leyes de la termodinámica, y la temperatura real, también a la salida del compresor. El rendimiento es mayor cuanto más se asemeje la temperatura real a la teórica. En las aplicaciones normales, el rendimiento del compresor está en torno a un 75 %.
- **Flujo másico del compresor:** es el caudal de aire que proporciona el compresor, medido en kg/s.
- **Régimen de giro del compresor:** es la velocidad de rotación del compresor. Cuanto mayor sea este parámetro, mayor será el grado de sobrealimentación.

12.2.1. Compresores mecánicos

Este tipo de compresores se denominan mecánicos porque son arrastrados por el propio motor a través de una correa, una cadena o engranajes. Se distinguen los siguientes tipos:

- **Volumétricos o de desplazamiento positivo:** en este tipo de compresores, la presión se genera porque el aire entra en una cámara que disminuye su volumen. Esta cámara tiene un volumen grande en la zona de aspiración y se minimiza en la zona de impulsión. El caudal de aire suministrado es proporcional al régimen de giro del motor. La presión a la salida del compresor depende de las características del circuito después del mismo y del caudal de aire. Se pueden distinguir los siguientes tipos:
  - **De lóbulos o Roots:** están formados por dos rotores simétricos, cada uno de ellos con dos o tres lóbulos, como muestra la Figura 12.1. A su vez, la disposición de los lóbulos puede ser longitudinal o helicoidal. Su funcionamiento se parece al de una bomba de aceite de motor, donde se necesita un flujo constante. El movimiento de los rotores está sincronizado mediante un engranaje, permitiendo que giren a la misma velocidad pero en sentido contrario. Los rotores no entran en contacto y deben mantener entre ellos un juego mínimo. Este tipo de compresores desplazan la masa de aire que entra en el motor, manteniendo prácticamente la misma presión a la entrada y a la salida del compresor. Así, la presión de soplado será mayor que la atmosférica si el compresor suministra un caudal de aire superior al que puede evacuar el motor. El rendimiento de un compresor de lóbulos o Roots suele ser de un 40 %.
  - **Lysholm:** la constitución y funcionamiento de este tipo de compresores es parecida a la del compresor de lóbulos pero ahora los rotores forman un conjunto macho-hembra helicoidal, de forma que los resaltes de uno de ellos encajan en los huecos del otro,

© Ediciones Paraninfo

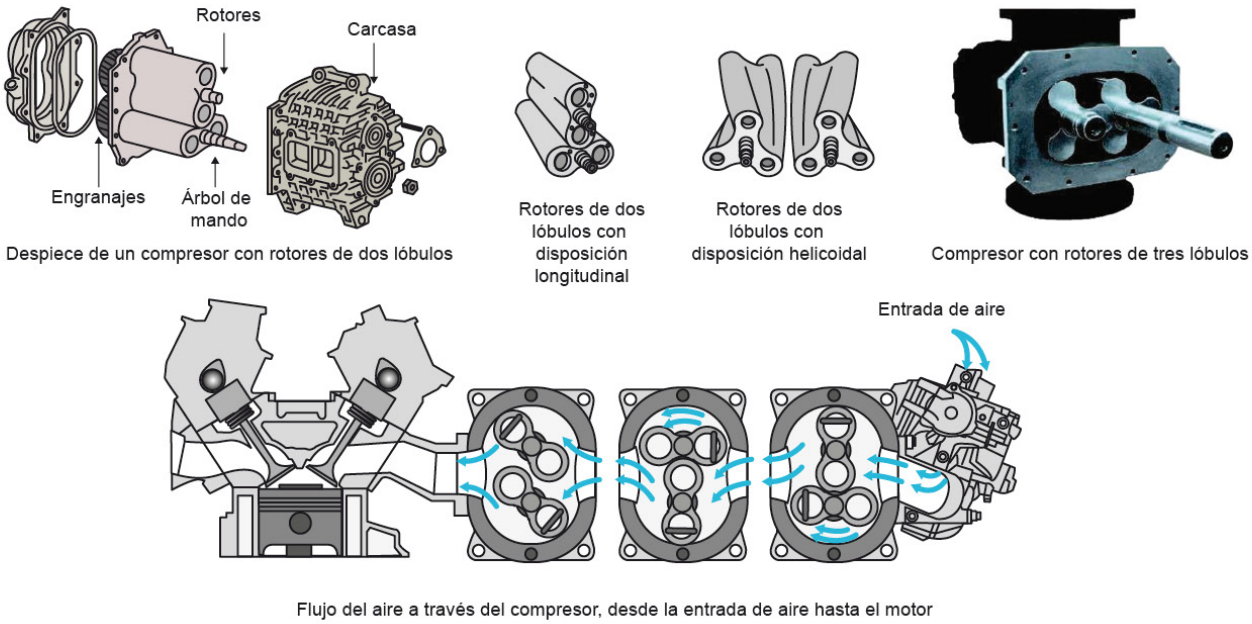


Figura 12.1. *Compresor de lóbulos o Roots.*

como puede verse en la Figura 12.2. Uno de los rotores tiene un menor número de resaltes y ambos giran sincronizadamente a través de un par de engranajes, existiendo entre ellos un juego mínimo. En su giro, el espacio creado entre ellos es reducido progresivamente, comprimiendo el aire atrapado hasta la salida del compresor. El rendimiento de este tipo de compresores es de alrededor del 80 %.

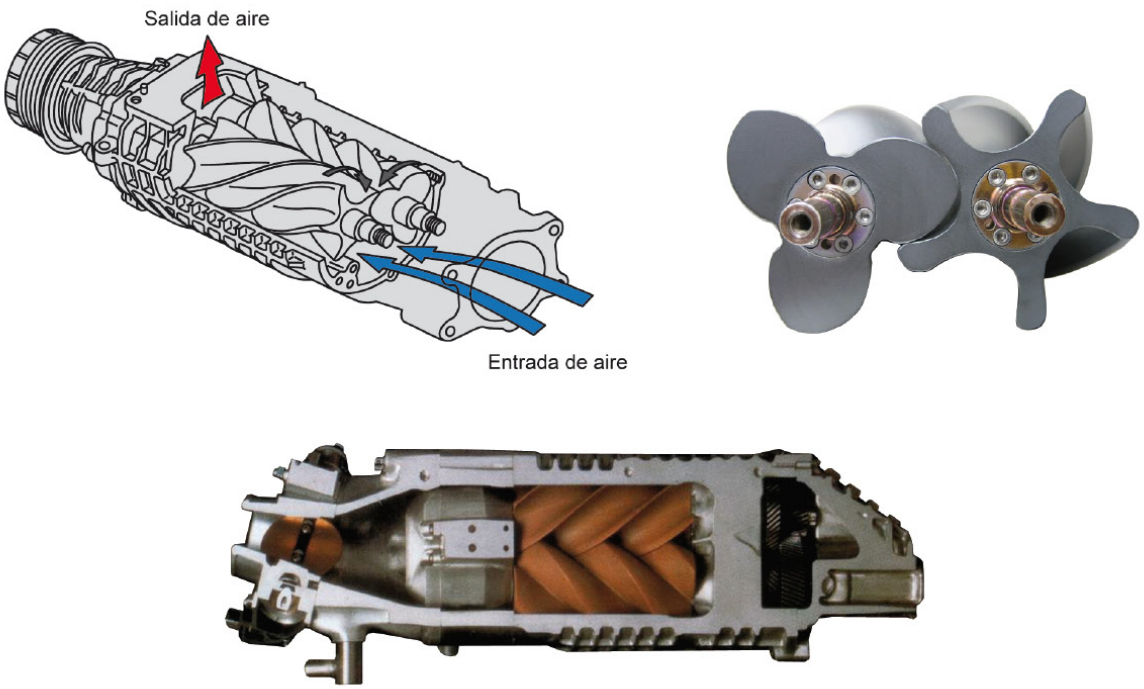


Figura 12.2. *Compresor Lysholm.*

© Ediciones Paraninfo

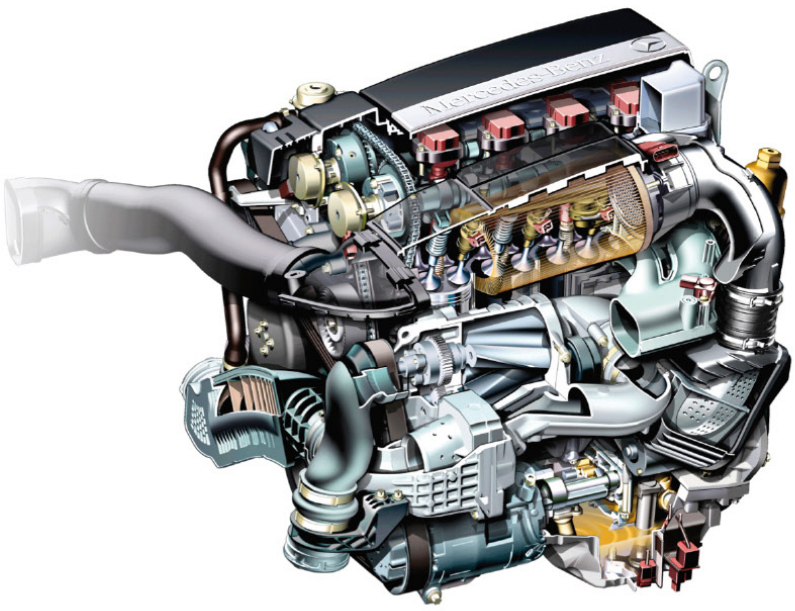
Sabías que...

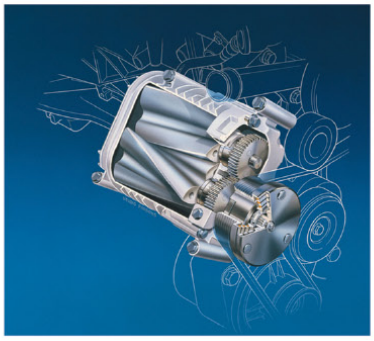
La disposición helicoidal de los lóbulos permite un suministro de aire más uniforme y se reducen los efectos pulsatorios del mismo.

– **De tornillo:** el empleo de este tipo de compresores está muy extendido actualmente. Su constitución y funcionamiento es muy similar a la de los dos anteriores. Los dos rotores son iguales y sus resaltes se disponen de forma helicoidal, siendo su forma más afilada que en el compresor de lóbulos, como muestra la Figura 12.3.

– **De tipo G:** los compresores denominados de tipo G fueron empleados en algunos modelos del grupo VAG. Sus componentes y modo de actuación se explican a través de la Figura 12.4. Este compresor está compuesto por unos laberintos con forma de espiral que comprimen el aire por el movimiento relativo que se produce entre ellos. Consta de dos carcasas exteriores fijas que tienen mecanizadas unos conductos en espiral. En el interior se encuentra una espiral móvil que se mueve de forma alternativa por la excéntrica que se aloja en su centro y otra excéntrica sincronizada con la primera que se introduce en un extremo de la pieza. El aire se va comprimiendo al avanzar por el espacio comprendido entre las carcasas y la espiral móvil. Este dispositivo es más silencioso y compacto que los anteriores compresores mecánicos, provocando un reducido efecto pulsatorio. El rendimiento del mismo es de aproximadamente un 60 %. Algunos de sus inconvenientes son el elevado coste de fabricación por tener un complejo mecanizado, la lubricación y la estanqueidad.

Existen otros tipos de compresores de desplazamiento positivo. Algunos de ellos no han sido utilizados en automoción pero sí en otro tipo de máquinas, como los compresores de émbolos, empleados para instalaciones de aire comprimido, por ejemplo. Otros son los de paletas, muy poco utilizados en vehículos, cuyo funcionamiento es similar al de las bombas de transferencia de algunas bombas de inyección diésel rotativas. Por último, existen algunos diseños de rotor excéntrico, basados en el mismo principio de funcionamiento del motor Wankel, aunque se puede decir que no han tenido aplicación práctica.





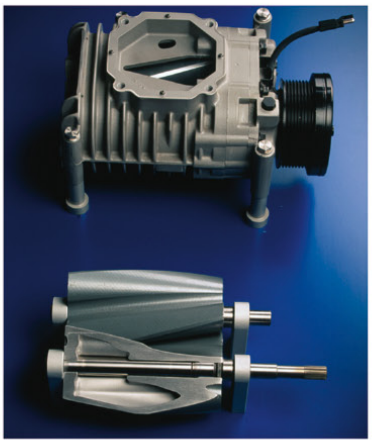


Figura 12.3. *Compresor de tornillo.*

© Ediciones Paraninfo

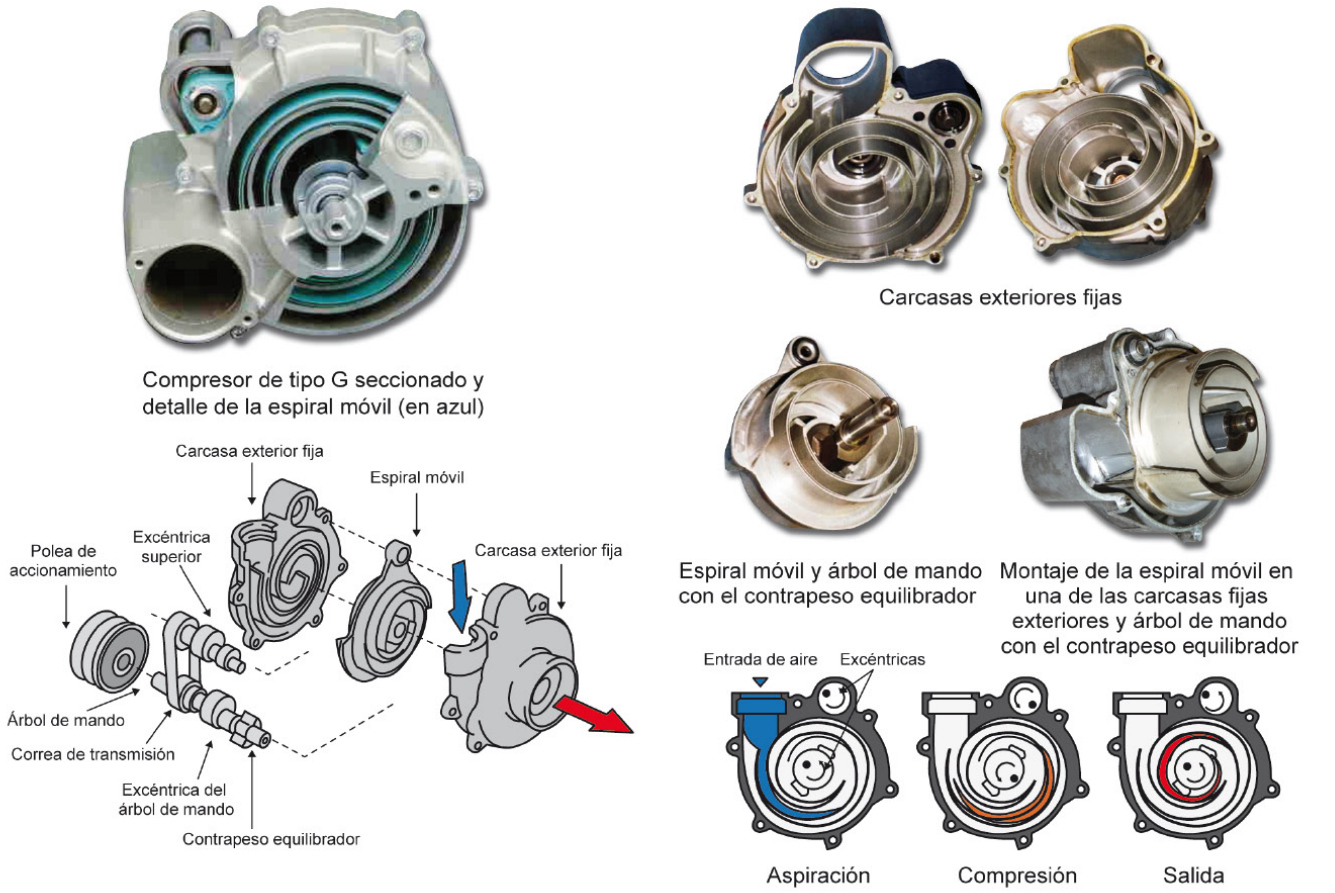


Figura 12.4. *Compresor de tipo G.*

En general, se puede decir que las ventajas de los compresores mecánicos son las siguientes:

- El caudal de aire suministrado es proporcional al régimen de giro.
- El tiempo de respuesta, en general, es reducido.
- Desde el punto de vista constructivo, la mayoría son muy simples.

Como inconvenientes destacan los siguientes:

- Elevado peso y volumen.
- En los compresores con rotores, el ruido puede ser considerable porque entran en contacto dichos elementos por dilatación de los mismos y disminución de su juego de montaje.
- Efecto pulsatorio del aire, sobre todo en algunos tipos.
- Con el motor a plena potencia, absorben mucha energía del mismo.
- A partir de un cierto grado de sobrealimentación aumentan mucho las tensiones mecánicas y térmicas del compresor.

- **Dinámicos o de desplazamiento no positivo:** este tipo de compresores tienen la ventaja de proporcionar un flujo continuo y tener pocas piezas en movimiento, que además son de poca inercia, por lo que se reducen las pérdidas de energía. Cabe destacar los compresores centrífugos o de flujo radial, como el de la Figura 12.5, donde un rodete es movido por un eje que a su vez es accionado por el motor. El rodete, en su giro, genera una depresión en su centro, que provoca la aspiración del aire. Posteriormente, el aire es impulsado por la fuerza centrífuga hacia la periferia del mismo. Los compresores centrífugos necesitan regímenes de giro muy elevados para poder suministrar el caudal de aire necesario.

Recuerda que...

En un compresor centrífugo, el aire entra a poca presión y alta velocidad, y sale a alta presión y poca velocidad.

© Ediciones Paraninfo

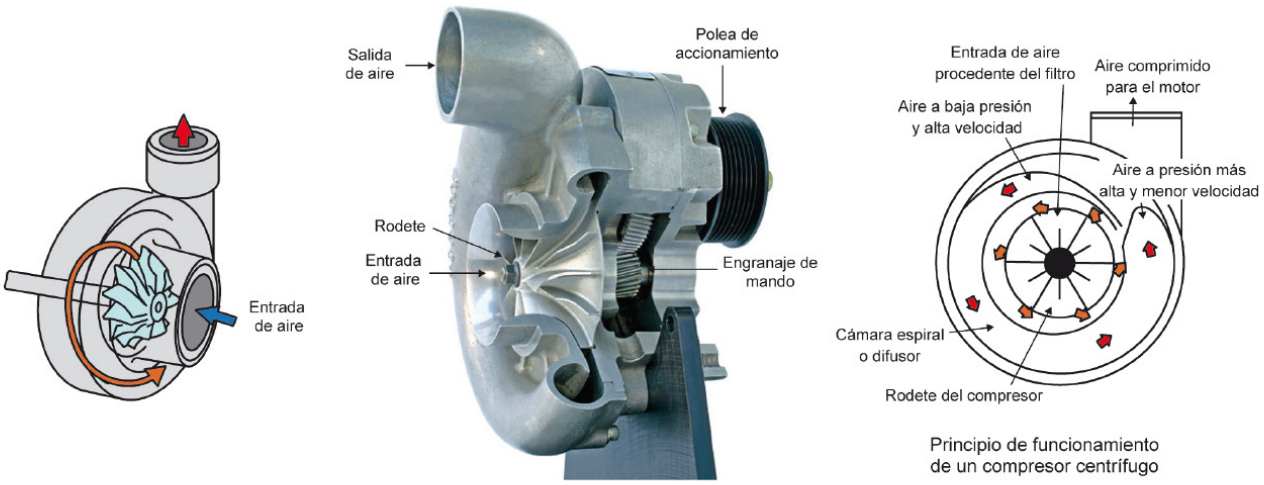


Figura 12.5. *Compresor centrífugo.*

Existe otro tipo de compresores dinámicos, que en vez de ser de flujo radial son de flujo axial, sin aplicación en motores de automoción.

- **De ondas de presión o compresor Comprex:** este dispositivo es un compresor mecánico, al ser arrastrado por el motor, pero también aprovecha la energía de los gases de escape. Su utilización en vehículos automóviles ha sido muy escasa. El funcionamiento de este compresor se describe por medio de la Figura 12.6. Consiste en un tambor giratorio arrastrado por el cigüeñal, en el que el aire de admisión es comprimido por las ondas de presión de los gases de escape. Estas ondas de presión se propagan en cada una de las celdas longitudinales del tambor que, de forma alternativa van poniendo en contacto entre sus extremos el escape con la admisión. De esta forma, en un caso se llenan de gases de escape y en el otro del fluido de admisión. Sus principales ventajas son una reducida absorción de potencia del motor y su rápida respuesta. Como inconvenientes destacan sus costes de fabricación, gran tamaño, posibles daños al estar sometidos a bruscos saltos térmicos y que parte de los gases de escape se mezclan con los de admisión.

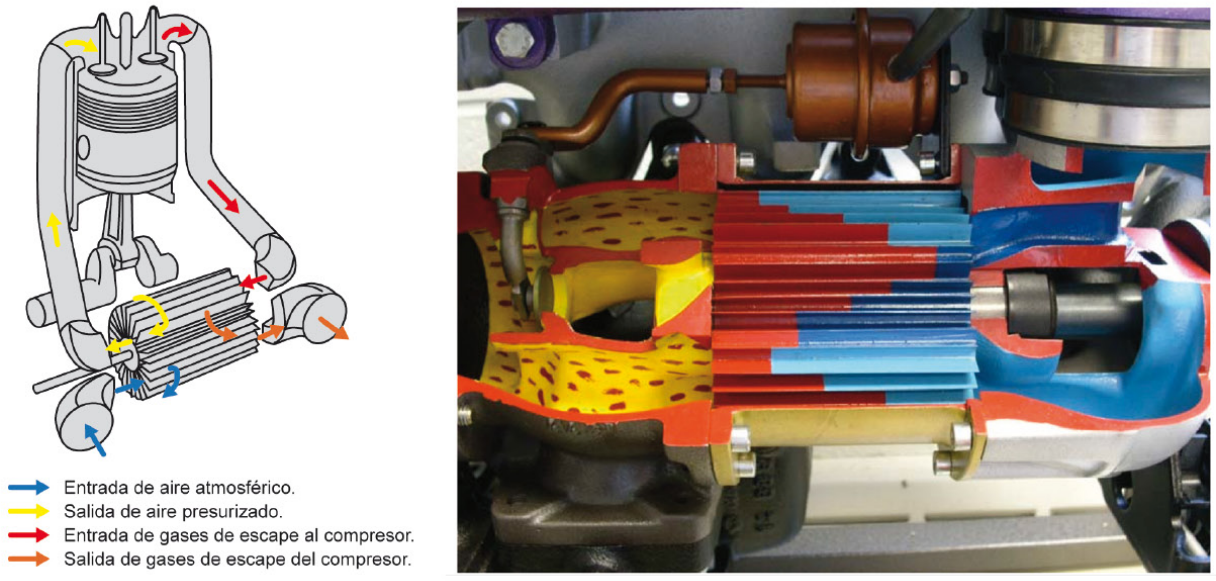


Figura 12.6. *Compresor Comprex.*

© Ediciones Paraninfo

Tras comprimir el aire, este aumenta su temperatura, por lo que la densidad del mismo disminuye. Por este motivo, se puede mejorar el rendimiento del motor si a la salida del compresor se instala algún dispositivo de enfriamiento del aire, como el intercooler. La instalación de este elemento dependerá del grado de sobrealimentación y del tipo de instalación.

Recuerda que...

Sea cual sea el tipo de compresor utilizado, en la mayoría de los casos es necesario un sistema de regulación de la presión de sobrealimentación para evitar daños en el motor o en el compresor. Estos sistemas suelen ser mecanismos de by-pass para comunicar la entrada y la salida del compresor, limitando la presión. Su accionamiento puede ser neumático o controlado electrónicamente por la unidad de control en los sistemas más modernos.

12.2.2. Turbocompresores

Los turbocompresores son compresores centrífugos movidos por la energía de los gases de escape, siendo el sistema de sobrealimentación más utilizado en automóviles. Su estudio se va a dividir en dos partes, que son su constitución y funcionamiento y su clasificación según el sistema de regulación.

- **Constitución y funcionamiento:** los turbocompresores se dividen en tres partes principales, como muestra la Figura 12.7, que son la turbina, el eje y el compresor. Durante el funcionamiento del motor, los gases de escape salen del mismo a elevada presión y temperatura, moviendo la turbina. El rodete del compresor está unido rígidamente a la turbina y, al girar, introduce en el motor aire a presión.

  Los motores con turbocompresor tienen dos fases de funcionamiento. La primera es una fase de funcionamiento atmosférico y la segunda es de sobrealimentación. Para alcanzar la sobrealimentación, el turbocompresor necesita girar a un régimen llamado de acoplamiento, que depende tanto del régimen de giro del motor como del grado de carga. Por debajo de ese punto de funcionamiento, el turbocompresor tiene una velocidad de rotación escasa, denominada régimen de vigilancia.

Recuerda que...

La instalación de la turbina a la salida del escape crea una contrapresión en el mismo, aunque luego la potencia del motor quede compensada con la sobrealimentación.

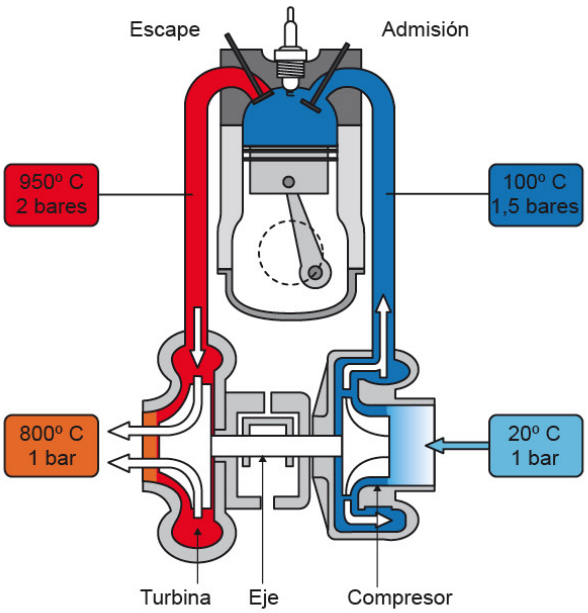


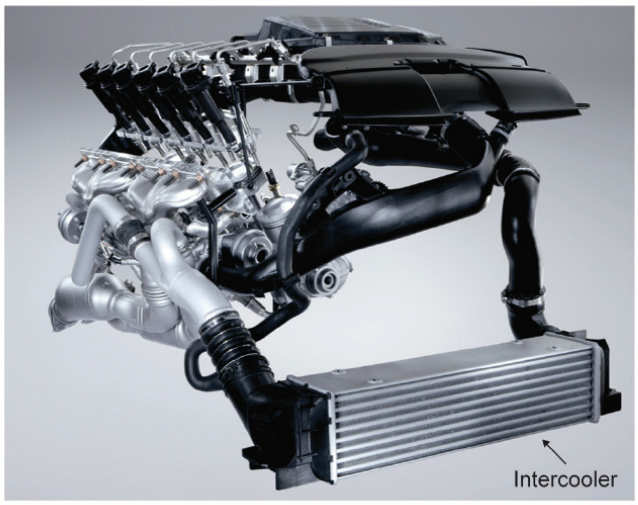
Figura 12.7. *Elementos principales de un turbocompresor y principio de funcionamiento.*

El hecho de comprimir el aire implica un aumento de su temperatura, que dependerá del grado de sobrealimentación y del rendimiento del compresor. A su vez esto conlleva una disminución de la densidad del aire, empeorando el llenado del motor y aumentando el riesgo de detonación en motores de gasolina. Para evitar esto, en la instalación se puede montar un enfriador de aire, llamado intercooler, como muestra la Figura 12.8. En los motores de automoción este intercambiador suele ser de aire-aire, aunque en algunos motores es de aire-agua. El postenfriamiento del aire mejora el llenado del motor, disminuye el riesgo de detonación en motores de gasolina y optimiza el comportamiento del motor en cargas parciales.

La instalación de un intercooler aumenta la potencia del motor, al mejorar el llenado por aumento de la densidad del aire. A su vez, también se reducen las emisiones de NO_X, ya que al enfriar el aire disminuye la temperatura en la cámara de combustión. Como inconvenientes, la instalación aumenta el coste de fabricación del vehículo, añade más elementos al sistema, aumenta las pérdidas de carga en los conductos presurizados y puede incrementar el ruido del motor por las turbulencias generadas en el aire de admisión a través de los manguitos, que son más largos, y el intercooler.

Muchos intercooler incorporan una válvula termostática que deja pasar el aire presurizado al intercooler solo cuando ha alcanzado una cierta temperatura.

© Ediciones Paraninfo



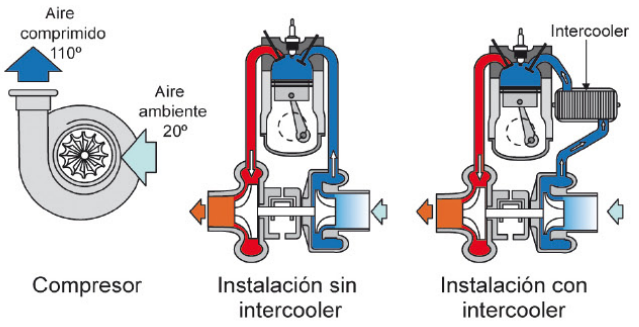


Figura 12.8. *Instalación de un intercooler.*

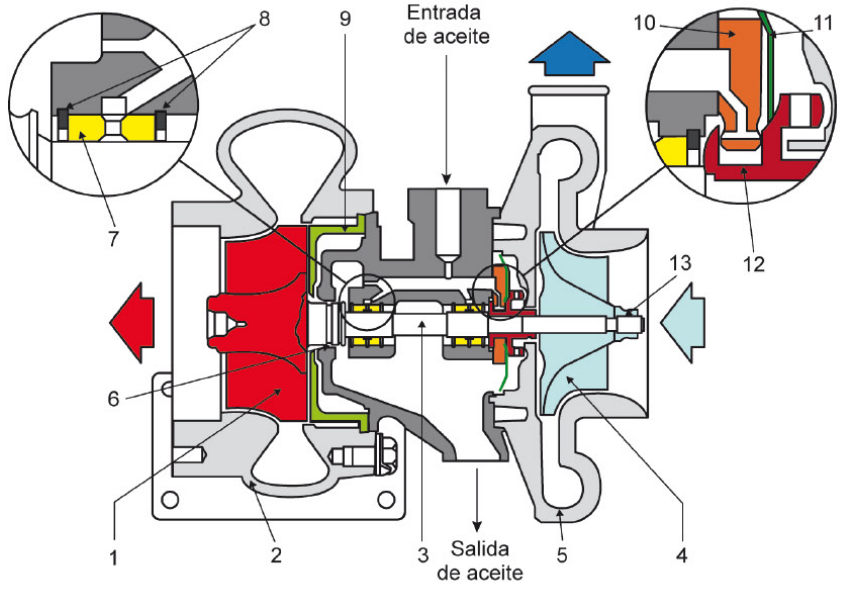
La Figura 12.9 muestra con más detalle las partes de un turbocompresor y servirá como base para su posterior análisis.

A continuación se van a explicar pormenorizadamente las partes más importantes de un turbocompresor:

– **Turbina:** los elementos de la turbina deben ser resistentes desde el punto de vista térmico y mecánico. La carcasa se fabrica en una fundición llamada Niresist, formada por alrededor de un 25 % de níquel, para soportar altas cargas térmicas y presiones en su interior. El rodete de la turbina está sometido además a elevadas cargas mecánicas, ya que los álabes son muy finos y gira muy rápidamente. Este elemento está fabricado con una aleación especial, siendo usual la conocida como Inconel, constituida por un 80 % de níquel, un 14 % de cromo y un 6 % de hierro. El rodete se suelda al eje por un procedimiento de fricción y se equilibra eliminando material por esmerilado. La Figura 12.10 muestra un ejemplo de distribución de temperaturas en un turbocompresor y los elementos principales de la turbina.

Sabías que...

Los rodetes de la turbina y del compresor son de una elevada precisión, ya que el juego existente entre ellos y sus respectivas carcasas ha de ser mínimo para que el turbocompresor tenga un buen rendimiento. Para conseguir esto, se suelen fabricar por el procedimiento de cera perdida, que consiste en fabricar el rodete en cera para posteriormente fundirla e inyectar el metal.



1. Rodete de la turbina.
2. Carcasa de la turbina.
3. Eje.
4. Rodete del compresor.
5. Carcasa del compresor.
6. Segmento de la turbina.
7. Cojinete central.
8. Anillos elásticos de retención.
9. Protector térmico.
10. Arandela de bronce.
11. Arandela elástica
12. Manguito de acero.
13. Tuerca del compresor.

Figura 12.9. *Partes de un turbocompresor.*

© Ediciones Paraninfo

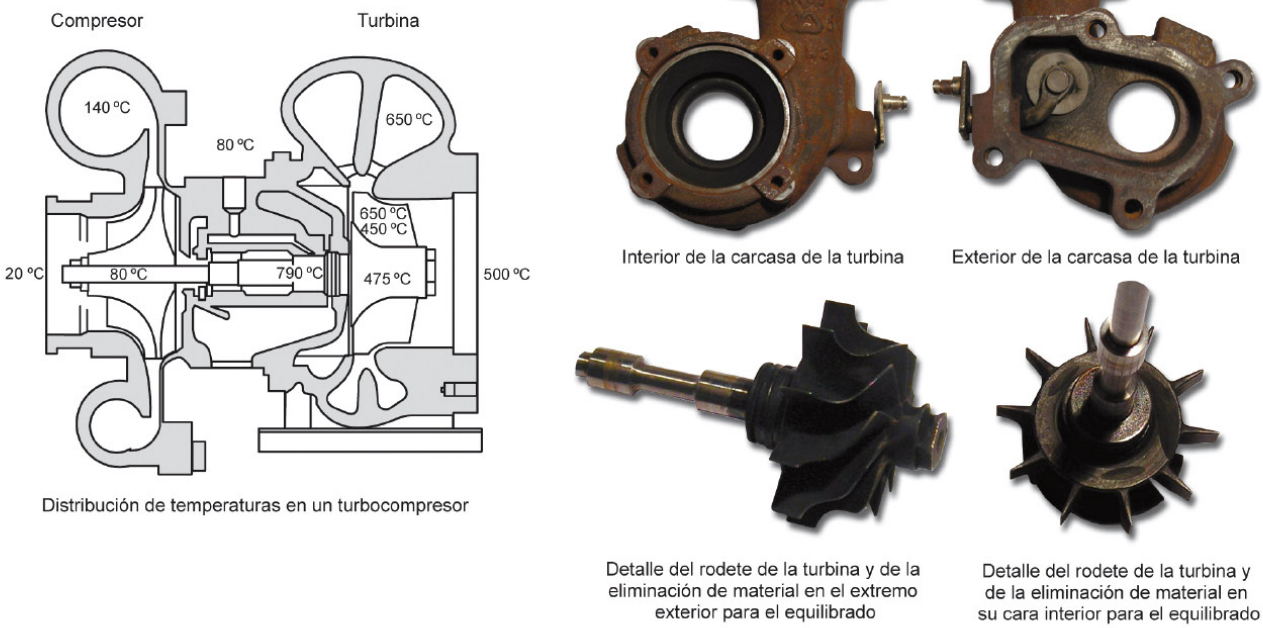


Figura 12.10. *Ejemplo de distribución de temperaturas en un turbocompresor y elementos principales de la turbina.*

– **Compresor:** tanto el rodete como la carcasa del compresor se fabrican en aleación de aluminio. El rodete se fija al eje a través de una tuerca y el conjunto se equilibra eliminando material de la tuerca y del rodete. En la Figura 12.11 pueden verse estos componentes.

– **Cojinete central:** este elemento ha de cumplir cuatro funciones principales:

  » *Soportar al eje:* aunque el eje no está sometido a cargas muy elevadas, su velocidad de rotación es muy alta. Se sostiene por uno o dos cojinetes flotantes. Estos cojinetes suelen ser de bronce recubierto con estaño o aluminio y se fijan axialmente a su alojamiento por unos anillos elásticos de retención. Por otro lado, el juego radial entre los cojinetes y su alojamiento suele ser de entre 0,05 y 0,1 mm, aunque depende mucho del modelo de turbocompresor y su aplicación final. Los cojinetes tienen unos taladros radiales por los que entra el aceite y, dada la holgura radial existente, se producen dos películas de aceite, una entre el cojinete y el alojamiento y otra entre el cojinete y el eje. El objetivo es asegurar un régimen de lubricación hidrodinámica y que los cojinetes puedan tener un giro relativo de aproximadamente la mitad que el eje. Por este motivo se denominan cojinetes flotantes.

Figura 12.11. *Elementos principales del compresor.*

© Ediciones Paraninfo

» *Aislar térmicamente el compresor de la turbina:* en el lado de la turbina se suele instalar un protector térmico en forma de campana. Además, el aceite tiene la función de evacuar calor. Por este motivo, los motores con turbocompresor necesitan un caudal de aceite elevado, bien filtrado y a presión. El aceite proveniente del filtro entra por la parte superior del alojamiento central y se evacua directamente al cárter a través de un conducto de gran diámetro para facilitar su salida.

» *Mantener la hermeticidad:* es necesario mantener estanco el cojinete central para que el aceite no pase a la turbina o al compresor. Para ello, en el lado de la turbina se instala un segmento de fundición. En el lado del compresor se puede montar también un segmento cuyo funcionamiento se verá apoyado por la presión del aire o bien una junta de carbono. La junta de carbono asegura la estanqueidad pero aumenta el rozamiento y con él la inercia del turbocompresor, el tiempo de respuesta y el consumo de combustible.

» *Absorber el empuje axial:* las fuerzas de los gases de escape sobre la turbina provocan que esta se desplace generando un empuje axial. Para absorber el empuje axial se monta un tope que consiste en un manguito de acero, formando un conjunto con el eje, que se apoya sobre una arandela de bronce. La arandela de bronce, a su vez, se lubrica con el aceite del motor y se sostiene sobre una arandela elástica.

La Figura 12.12 muestra los elementos más importantes del cojinete central.

Sabías que...

Existen turbocompresores en los que, en vez de cojinetes flotantes, se montan rodamientos.

Según lo anteriormente expuesto, se puede deducir que la lubricación en un motor con turbocompresor adquiere especial importancia. Por ello, es necesario un buen filtrado del aceite, ya que las impurezas podrían dañar los cojinetes. Para conseguir esto, el aceite pasa al turbocompresor inmediatamente después del filtro. Además, puede ser necesaria una bomba de aceite que suministre un mayor caudal y un radiador de aceite, ya que puede alcanzar temperaturas

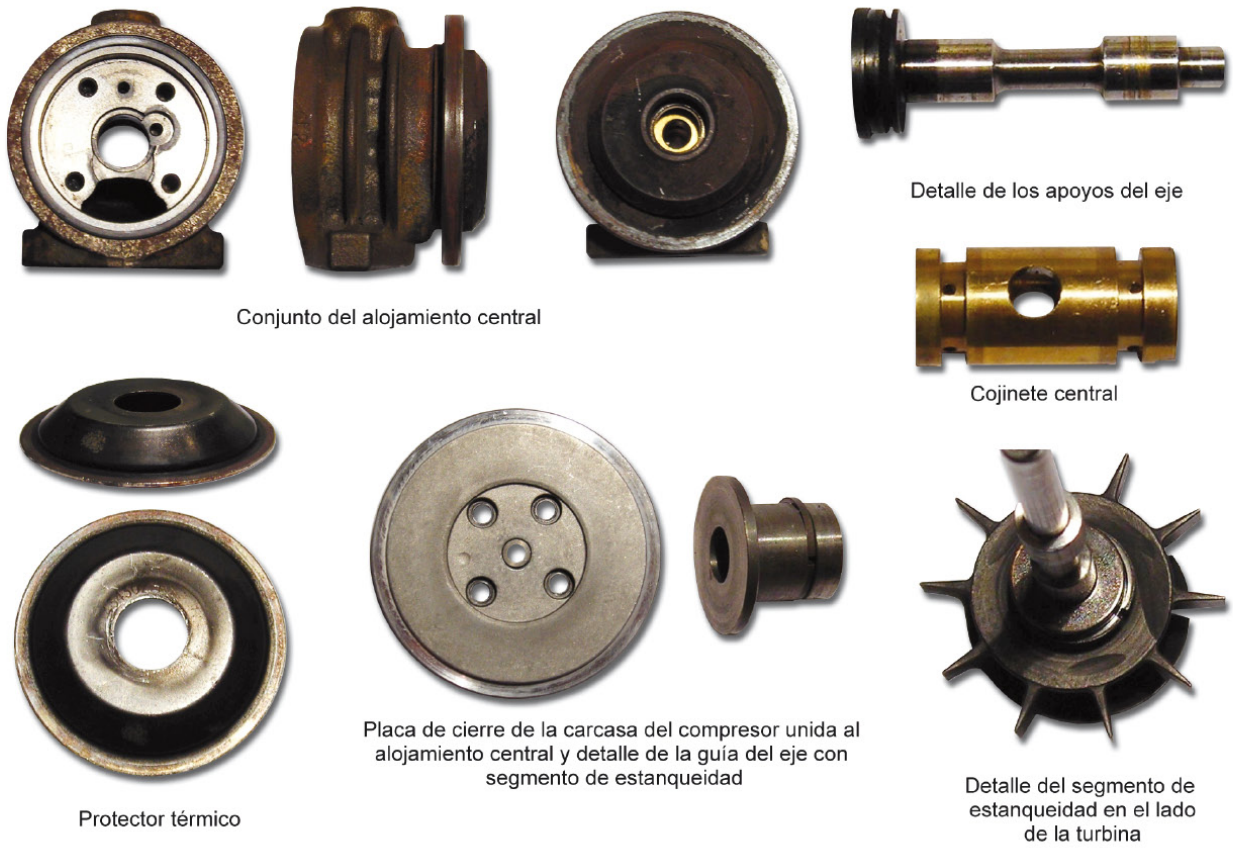


Figura 12.12. *Elementos principales del cojinete central.*

© Ediciones Paraninfo

elevadas. En la Figura 12.13 puede verse un detalle de la lubricación del turbocompresor.

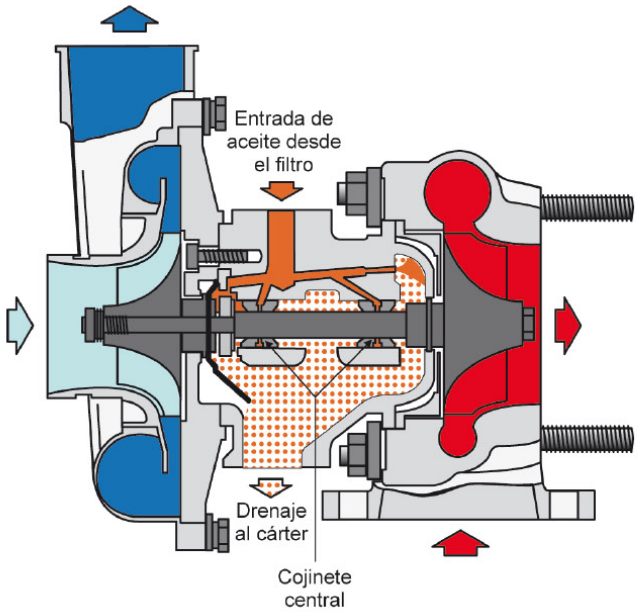


Figura 12.13. *Lubricación del turbocompresor.*

Recuerda que...

Aunque en muchos motores modernos está mucho más controlado, no se debe parar el motor tras haber funcionado a alto régimen de giro y carga. Esto se debe a que al parar el motor, se interrumpe el suministro de aceite aunque el turbocompresor siga en movimiento, por lo que gira sin lubricación y los cojinetes se van rayando, disminuyendo su vida útil. Además, al interrumpir la circulación de aceite a muy alta temperatura puede ocurrir que el aceite remanente se carbonice y deteriore también los cojinetes.

En un motor con turbocompresor el reciclaje de los vapores de aceite del cárter es más delicado. Esto se debe a que el efecto blow-by es más acusado que en un motor atmosférico debido a la mayor presión dentro del cilindro.

Sabías que...

En algunos motores turboalimentados se instala un filtro de aceite adicional para filtrar el lubricante que se dirige al turbocompresor.

En cuanto a la refrigeración, algunos turbocompresores van refrigerados por agua y otros únicamente por aire. En el caso de ir refrigerados por agua, además de las tuberías de aceite, se pueden apreciar otras de entrada y salida de líquido refrigerante en el alojamiento central. La circulación del refrigerante es provocada por la bomba de agua del motor y, al pararlo, se interrumpe. Existen motores en los que se instala una bomba de agua adicional eléctrica, que se pone en funcionamiento durante un tiempo tras parar el motor, si está a una determinada temperatura. Esto evita la carbonización del aceite en el eje del turbocompresor. En este sistema, mostrado en la Figura 12.14, el líquido refrigerante es aspirado desde el radiador por la bomba y lo hace pasar por el compresor y de ahí al motor. Posteriormente vuelve al radiador para ser enfriado.

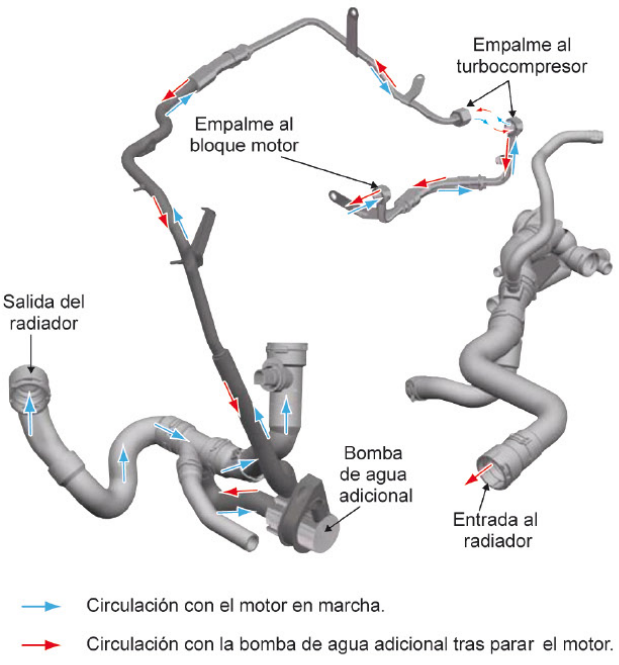


Figura 12.14. *Sistema de refrigeración del turbocompresor con bomba de agua adicional.*

La presión máxima de combustión en un motor con turbocompresor no es muy superior a la de un motor atmosférico, como representa la gráfica de la Figura 12.15, pero durante la fase de expansión se mantiene ese incremento de presión. De esta forma, el área encerrada en el diagrama P-V es mayor y, por tanto, el trabajo realizado.

Debido a que un motor sobrealimentado realiza un trabajo mayor, si se quiere instalar un turbocompresor tomando como base un motor atmosférico ya existente hay que aumentar la resistencia mecánica y térmica de elementos como el bloque, la culata, los pistones, las bielas, el cigüeñal…

© Ediciones Paraninfo

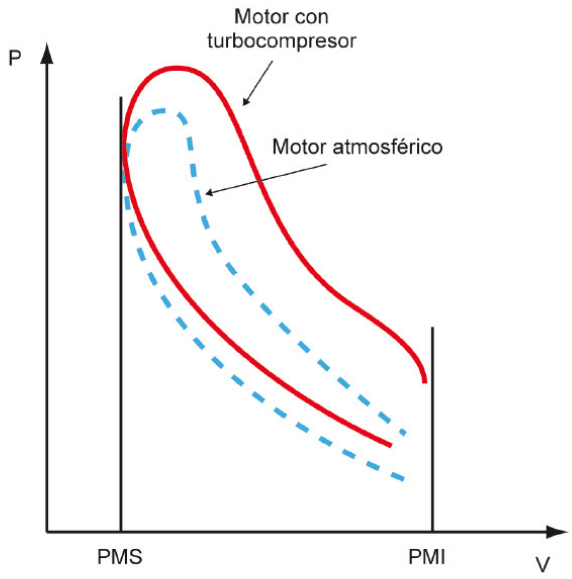


Figura 12.15. *Representación esquemática del ciclo de trabajo en el diagrama P-V de un motor atmosférico y otro sobrealimentado.*

Sabías que...

Con el empleo de la sobrealimentación es posible reducir el cruce de válvulas, ya que el llenado es más eficiente. No obstante, el avance de la apertura del escape (AAE) favorece la aceleración de la turbina.

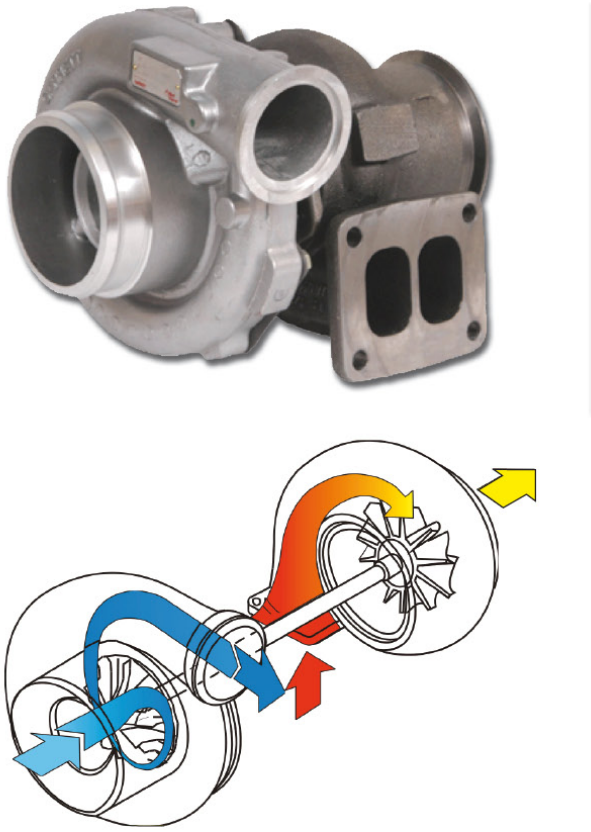


Figura 12.16. *Turbocompresor sin regulación.*

- **Clasificación según su sistema de regulación:** los turbocompresores se clasifican según su regulación de la siguiente forma:

  – **Sin regulación:** en este tipo de turbocompresores no se instala ningún sistema de regulación de la velocidad, ya que esta se autolimita por el balance energético de la turbina y el compresor. De esta forma se obtiene un compromiso entre la presión de soplado y la presión de los gases de escape. La Figura 12.16 muestra un turbocompresor sin regulación y su aplicación más usual es en grandes motores diésel que funcionan a pocas revoluciones o estacionarios.

  – **Con válvula de descarga wastegate:** una vez que se ha alcanzado la presión de sobrealimentación deseada, hay que limitar el régimen de giro del turbocompresor. Una de las formas de hacerlo es mediante una válvula de descarga, que, en un momento dado, se abre y comunica la salida de los gases de escape a la entrada de la turbina, con la línea de escape. Así, se mantiene un nivel de presión y velocidad, ya que no todos los gases de escape inciden sobre la turbina. La Figura 12.17 muestra un turbocompresor con válvula de descarga y, a modo de ejemplo, la evolución de la curva de presión de sobrealimentación en función del régimen de giro y a plena carga.

  La válvula de descarga puede ser de diferentes tipos, siendo los más importantes los siguientes:

  » *Neumática sometida a la presión de los gases de escape:* un ejemplo de esta válvula es la que aparece en la Figura 12.18. La presión de los gases de escape actúa sobre un lado de la membrana y, a partir de una cierta presión, vencerá la fuerza de su muelle y se abrirá la válvula de platillo, comunicando la salida de gases del motor con la línea de escape. La apertura dependerá de la presión de los gases de escape y del tarado del muelle de la membrana. En el otro lado de la membrana actúa la depresión existente a la entrada del compresor, ayudando a la regulación.

  » *Neumática sometida a la presión del colector de admisión:* el funcionamiento es similar al caso anterior, pero ahora la válvula se desplaza por la presión del

© Ediciones Paraninfo

Figura 12.17. *Turbocompresor con válvula de descarga y evolución de la curva de presión de sobrealimentación en función del régimen de giro y a plena carga.*

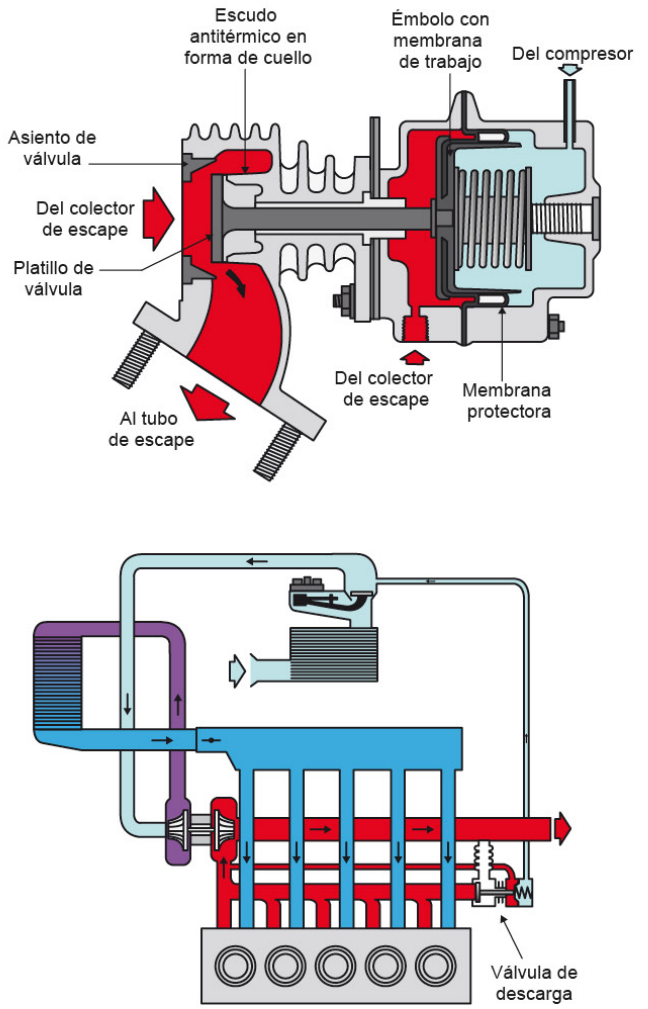


Figura 12.18. *Válvula de descarga neumática sometida a la presión de los gases de escape.*

fluido de admisión a la salida del compresor, que incide sobre la membrana, como indica la Figura 12.19.

» *Neumática controlada por una electroválvula gobernada por la unidad de control:* en este caso, la presión que actúa sobre el pulmón de la válvula de descarga es modulada por una electroválvula gobernada por la unidad de control del motor. En la Figura 12.20 puede verse un ejemplo de esta electroválvula en un sistema de sobrealimentación. Su funcionamiento es regulado a través de una señal PWM enviada por la unidad de control, donde la activación es modificada en función de la información recibida de diferentes sensores. Con esto se consigue mantener un par motor más uniforme en un rango de revoluciones más amplio, una entrega de potencia más progresiva y unas prestaciones invariables con el tiempo, ya que se compensa el desgaste de la membrana y del muelle del pulmón.

En muchos motores diésel, en vez de utilizar presión de aire para controlar el pulmón de la válvula de descarga, se utiliza la depresión generada por la bomba de vacío, siendo esta controlada por una electroválvula como la de la Figura 12.21. La electroválvula establece un nivel de depresión en el pulmón comprendido entre la depresión generada por la bomba de vacío y la presión atmosférica. Cuando está en reposo y sin depresión porque el motor está parado, conmuta la toma hacia la bomba de vacío con la salida hacia el pulmón de regulación. Cuando el motor está en marcha, la depresión cierra el paso del vacío y al pulmón le llega presión atmosférica. La excitación de la electroválvula por la unidad de control hace que el émbolo descienda y obstruya la toma de presión atmosférica, comunicando el pulmón con la depresión proveniente de la bomba de

© Ediciones Paraninfo

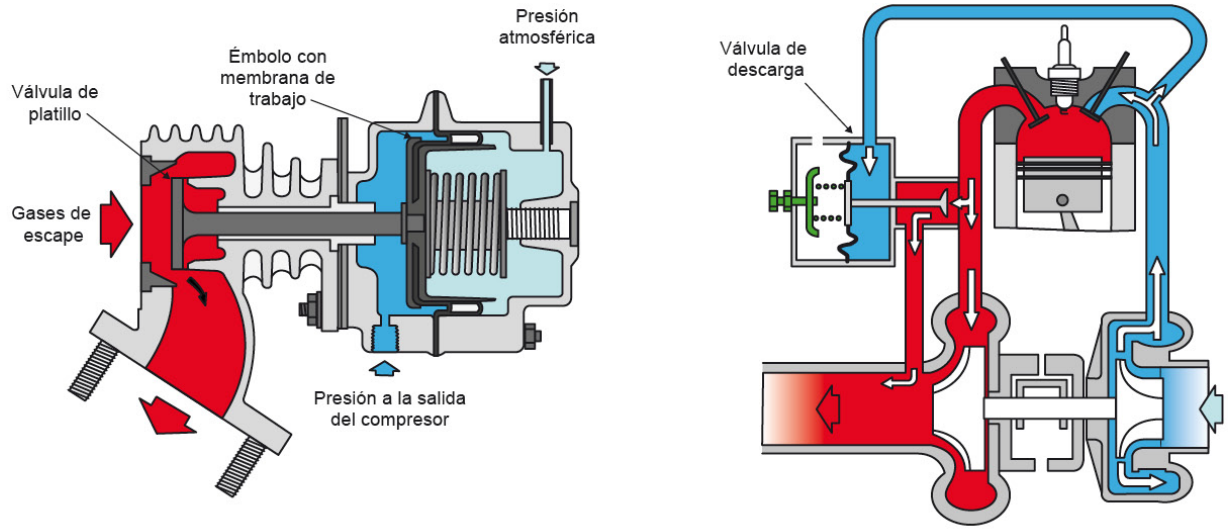


Figura 12.19. *Válvula de descarga neumática sometida a la presión del colector de admisión.*

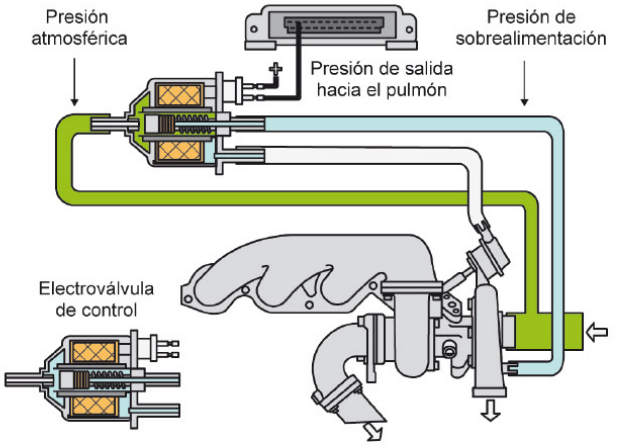


Figura 12.20. *Válvula de descarga neumática controlada por una electroválvula gobernada por la unidad de control.*

vacío. La regulación precisa se hace mediante una señal de mando de tipo PWM.

El control electrónico de la presión de sobrealimentación mediante electroválvula permite implementar una función denominada *overboost*, que consiste en obtener una presión de sobrealimentación superior a la normal, durante un periodo de tiempo determinado, cuando el motor funciona bajo ciertas condiciones. Esta función es útil, por ejemplo, cuando se desea realizar un adelantamiento. Así, la unidad de control detecta que el conductor solicita plena carga por la posición del acelerador y, tras un tiempo prudencial que asegura que la maniobra ha terminado, desactiva la función overboost.

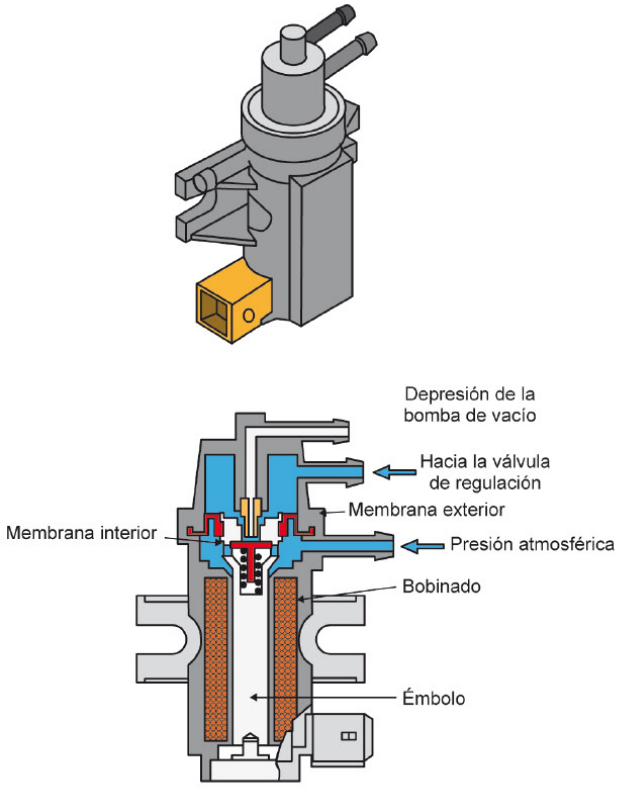


Figura 12.21. *Electroválvula de control de la presión de sobrealimentación mediante vacío.*

» *Accionada por un motor eléctrico gobernado por la unidad de control:* en muchos sistemas modernos se instala un motor eléctrico que acciona la varilla de la válvula de descarga. El sistema es controlado por

© Ediciones Paraninfo

la unidad de control, realimentándose a través de un sensor de posición de la varilla. De esta forma, en función de la información de este sensor y otros parámetros del motor, actuará sobre el motor eléctrico.

En algunos motores de gasolina con sobrealimentación mediante turbocompresor se instala una válvula amortiguadora o dumper, que permite la recirculación del aire en el turbocompresor bajo ciertas condiciones. Este sistema evita la deceleración del turbocompresor al soltar el acelerador y durante los cambios de marcha. La válvula puede ser neumática o electrónica, estando representada esta última en la Figura 12.22. Al soltar el acelerador y cerrar la mariposa de gases, en el compresor aún hay presión de sobrealimentación que provoca un frenado brusco de la turbina y, en consecuencia, la presión de soplado disminuye rápidamente. Para evitar esto, la válvula de recirculación de aire del compresor se abre mediante un actuador electromagnético, conmutando la salida del compresor con la entrada. De esta forma se mantiene la velocidad del turbocompresor y la presión de soplado, evitando un cierto bache en el funcionamiento durante estos transitorios. Cuando se vuelve a actuar sobre el acelerador, la mariposa de gases abre y la válvula de recirculación se cierra.

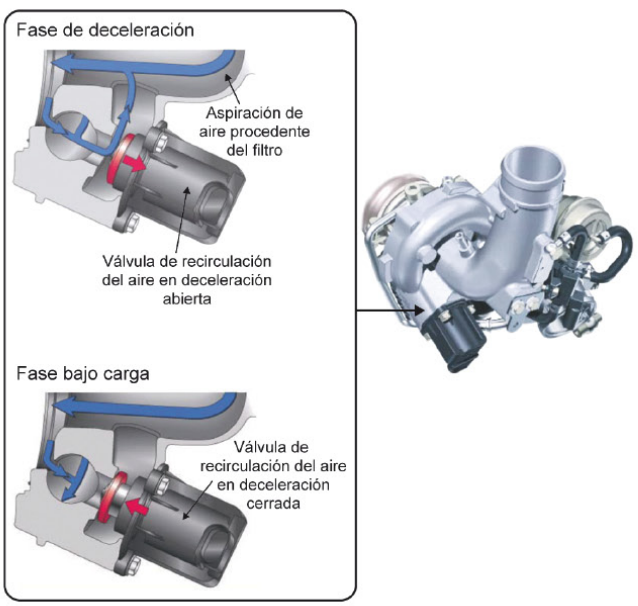
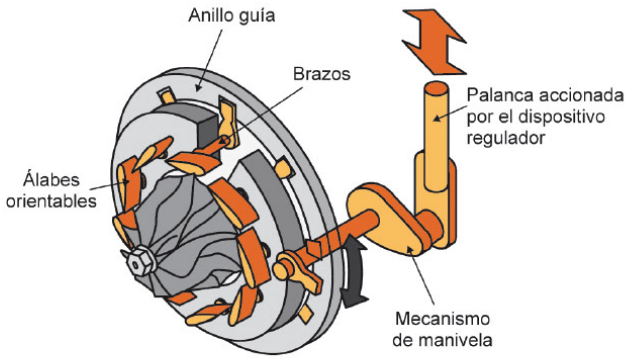


Figura 12.22. *Válvula amortiguadora del turbocompresor accionada electrónicamente.*

– **De geometría variable:** aunque en los turbocompresores más modernos con válvula de descarga se tiene un control preciso de la misma, las posibilidades de regulación son limitadas. Por otro lado, en función de la geometría de los rodetes, se distinguen turbocompresores de baja inercia o de alta inercia. Los primeros ofrecen una buena presión de sobrealimentación a bajas revoluciones del motor, aunque su rendimiento disminuye a medida que aumenta el régimen. En los segundos ocurre lo contrario, tendrá que alcanzarse un determinado régimen de giro hasta que el compresor empiece a generar la presión de sobrealimentación, aumentando el tiempo de retardo denominado *turbo lag*. Los turbocompresores de geometría variable o VNT (*Variable Nozzle Turbine*) pueden modificar constantemente la incidencia de los gases de escape sobre los álabes de la turbina, para que el turbocompresor gire al régimen óptimo que ofrece la presión de sobrealimentación idónea. Estos turbocompresores tienen unos álabes orientables que varían el flujo de entrada de gases de escape a la turbina, como muestra la Figura 12.23. De esta forma, el dispositivo regulador acciona una palanca que, mediante



Mecanismo de modificación de la orientación de los álabes

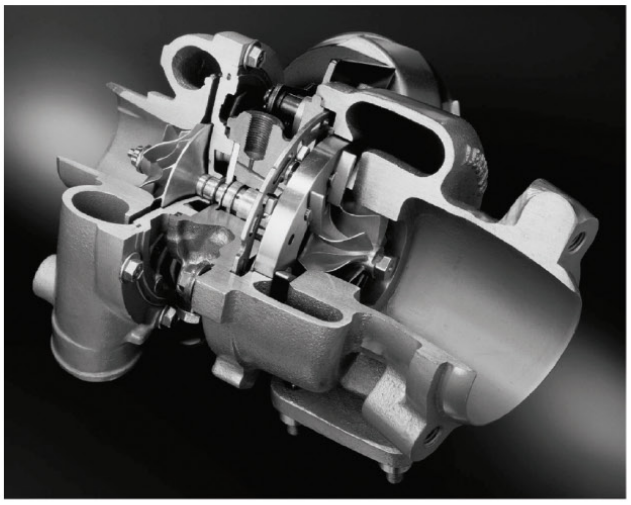


Figura 12.23. *Mecanismo de modificación de la orientación de los álabes y turbocompresor de geometría variable seccionado.*

© Ediciones Paraninfo

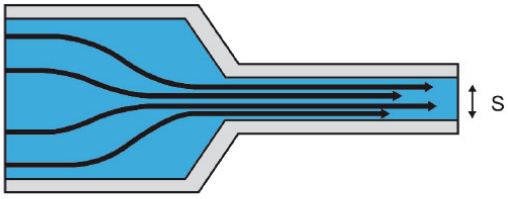
un mecanismo de manivela, hace girar un anillo guía al que están eslabonados los brazos que mueven los álabes orientables.

Los turbocompresores de geometría variable se usan en motores diésel. Esto se debe a que la temperatura de los gases de escape en los motores de gasolina es muy elevada y hace inviable el funcionamiento del mecanismo de accionamiento de los álabes. No obstante, existen aplicaciones en vehículos de gasolina de muy alta gama, empleando materiales como el titanio para el mecanismo de accionamiento.

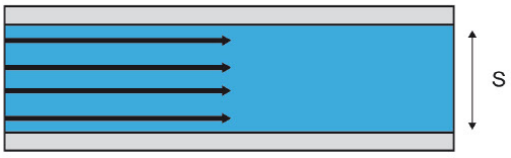
Recuerda que...

Como en un motor diésel siempre hay que maximizar la entrada de aire, el empleo de turbocompresores de geometría variable optimiza su funcionamiento.

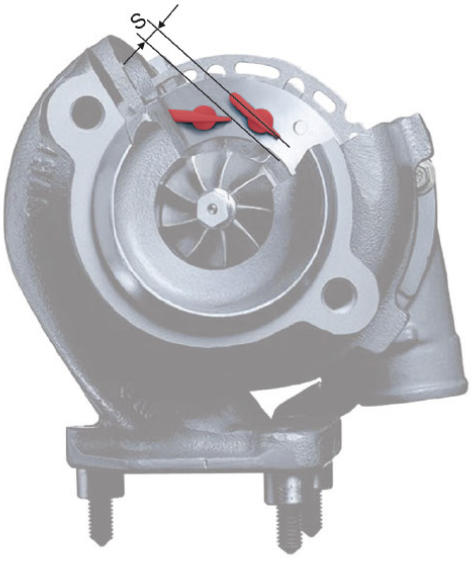
El funcionamiento de este tipo de turbocompresores se explica a través de la Figura 12.24. Su modo de operación se basa en que si un fluido atraviesa una tubería y esta disminuye su sección, aumenta la velocidad del fluido. De esta forma, cuando se desea acelerar la turbina, los álabes orientables adoptan una posición cerrada, disminuyendo la sección de paso del flujo de los gases de escape hacia la turbina, aumentando su velocidad. Además, la incidencia de los gases sobre los álabes es tangencial, por lo que aumenta el par de giro, ya que el punto de aplicación de la fuerza de los gases está alejado del centro de la turbina. Cuando se desea limitar la presión de soplado y el régimen de giro del turbocompresor, los álabes orientables pasan a una posición abierta, aumentando la sección de paso del flujo de gases de escape, disminuyendo su velocidad, y, al tener una incidencia prácticamente radial, el punto de aplicación de la fuerza de los gases está muy próxima al centro de la turbina, disminuyendo el par generado. En consecuencia, el turbocompresor aprovecha mejor la energía de los gases de escape, reduciendo la velocidad mínima necesaria para que se empiece a generar una presión de soplado adecuada.



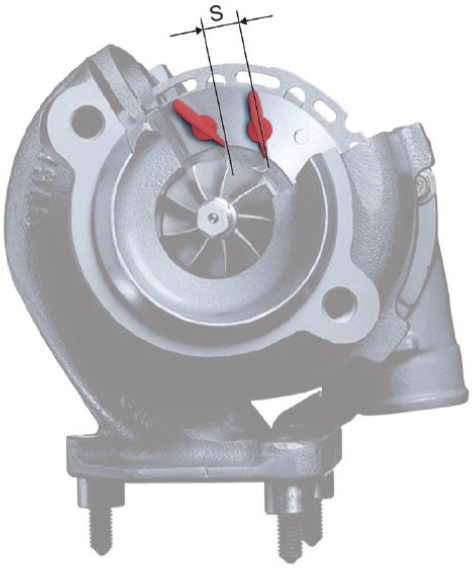
Al estrecharse el conducto, aumenta la velocidad del fluido.



Si el conducto aumenta su sección, la velocidad del fluido disminuirá. Si la sección es constante, la velocidad no variará.



Posición cerrada de los álabes orientables.



Posición abierta de los álabes orientables.

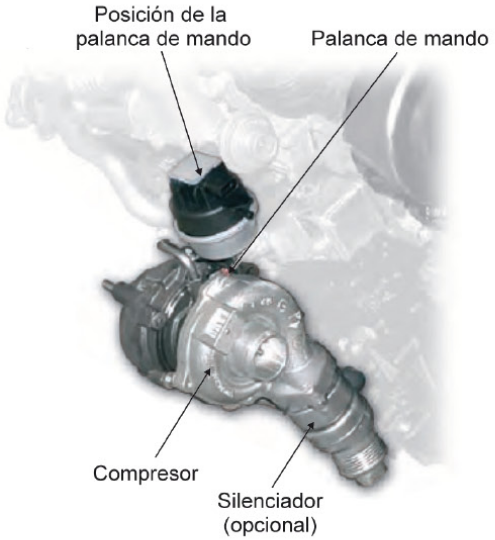
Figura 12.24. *Funcionamiento de un turbocompresor de geometría variable.*

© Ediciones Paraninfo

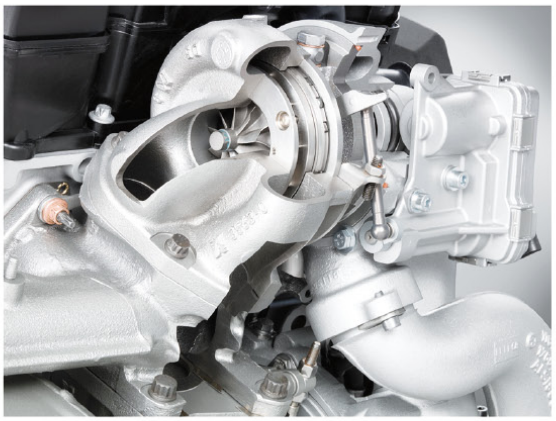
El funcionamiento de un turbocompresor de geometría variable se puede resumir de la siguiente forma. Cuando se demanda carga al motor y este posee un régimen de giro bajo, los álabes orientables adoptan una posición cerrada que acelera la turbina. A medida que aumenta el régimen de giro, no es necesaria tanta presión y hay que limitar la velocidad de rotación del turbocompresor, por lo que los álabes orientables van adoptando una posición abierta que frena o estabiliza la turbina.

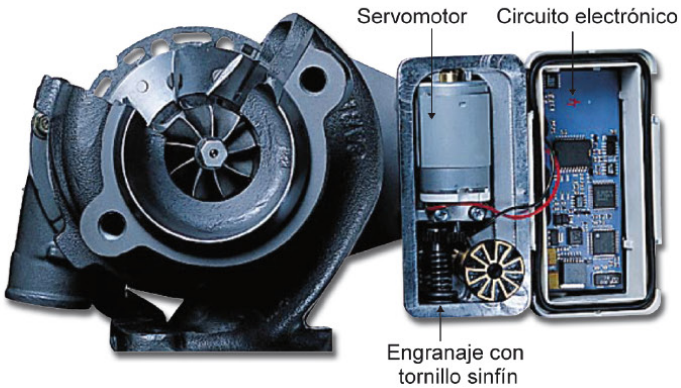
El dispositivo de regulación de la posición de los álabes orientables puede ser de los mismos tipos que los explicados en los turbocompresores con regulación mediante válvula de descarga. Los más usuales son los dispositivos neumáticos controlados por una electroválvula gobernada por la unidad de control, utilizando la depresión generada por la bomba de vacío, al tratarse mayoritariamente de motores diésel. En los sistemas más modernos, para tener un control más preciso, se incorpora un sensor de posición de la palanca de mando que mueve el anillo guía de los álabes, que informa a la unidad de control de la posición real de los mismos. Este sensor de posición suele ser de efecto Hall. Por último, la posición de los álabes también se puede controlar con un motor eléctrico. En este caso, un servomotor mueve la palanca de mando a través de un engranaje en forma de tornillo sinfín. La unidad de control gobierna el servomotor a través de una señal de mando de tipo PWM y la interpretación de esta señal se lleva a cabo en el sistema electrónico integrado junto al motor eléctrico. La unidad de control suele verificar el funcionamiento del sistema a través del sensor de presión de sobrealimentación. La Figura 12.25 muestra un dispositivo regulador neumático con sensor de posición de la palanca de mando y otro accionado por un servomotor.

Existe otro tipo de turbocompresor de geometría variable, menos utilizado, llamado de una pieza o VNT OP (*Variable Nozzle Turbine One Piece*). Este turbocompresor tiene un rendimiento mayor que uno con válvula de descarga y menor que los de geometría variable anteriormente



Dispositivo de regulación neumático con sensor de posición de la palanca de mando.





Dispositivo de regulación electrónico con servomotor.

Figura 12.25. *Dispositivos reguladores de la posición de los álabes orientables de un turbocompresor de geometría variable: neumático con sensor de posición de la palanca de mando y eléctrico con servomotor.*

© Ediciones Paraninfo

expuestos, siendo más barato de fabricar que estos últimos. Su constitución y funcionamiento se explica por medio de la Figura 12.26. El dispositivo regulador, de accionamiento neumático, mueve una única pieza que modifica la sección de paso de los gases de escape hacia la turbina. Cuando la sección de paso es pequeña o está cerrada, hay poco flujo a través de la turbina y a medida que se va haciendo más grande, el flujo va aumentando.

Los turbocompresores son máquinas susceptibles de generar ruidos que, a ciertas frecuencias, son perceptibles y molestas para el oído humano. Por este motivo, muchos motores sobrealimentados incorporan a la salida del compresor un silenciador como el representado en la Figura 12.27. Suele estar fabricado en acero inoxidable y en su interior tiene dos cámaras de resonancia. Las variaciones de flujo de aire producen ondas sonoras que entran por el interior del silenciador a una determinada intensidad, frecuencia y fase. Las cámaras de resonancia hacen que el aire oscile a una frecuencia igual a la que lo hace por el conducto interior, pero rebota en ellas con fase opuesta. De esta forma, la superposición de los dos tipos de ondas hace que se anulen o minimicen, reduciendo el nivel de ruido.

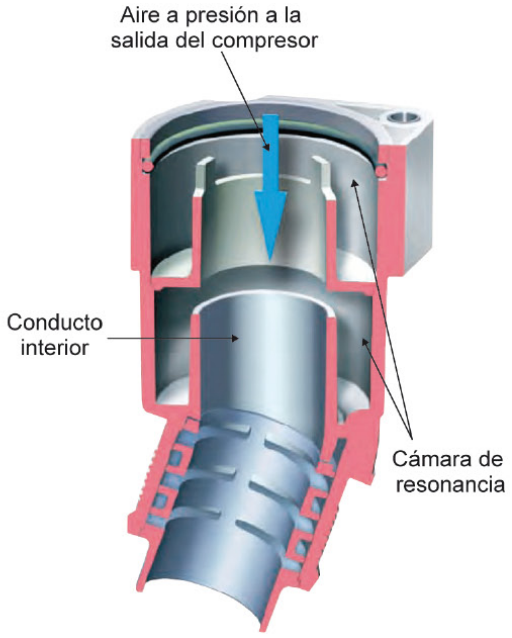


Figura 12.27. *Silenciador a la salida del compresor.*

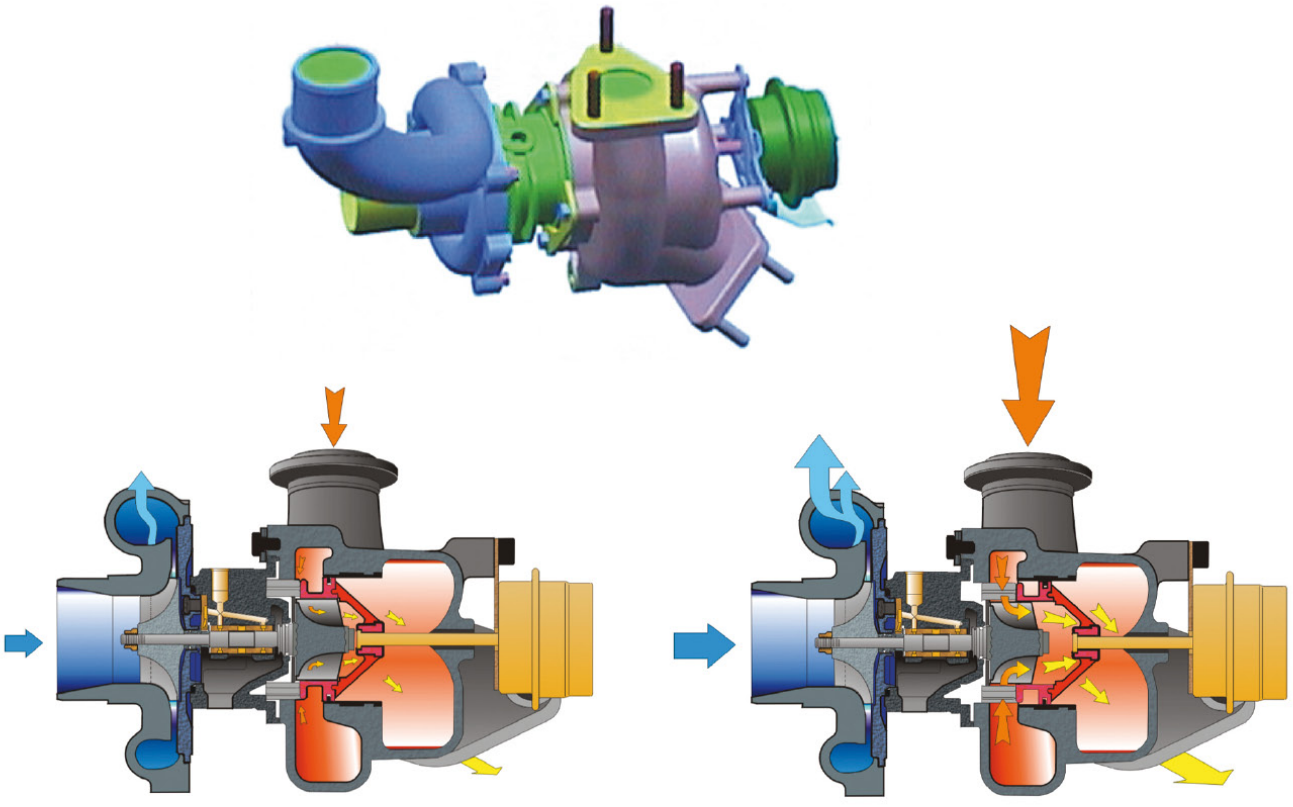


Figura 12.26. *Turbocompresor de geometría variable de una pieza (VNT OP).*

© Ediciones Paraninfo

12.3. Los turbocompresores en motores de gasolina

El empleo de turbocompresores en motores de gasolina está ampliamente extendido. No obstante, presentan ciertos problemas, enunciados a continuación, junto con sus soluciones correspondientes:

- **Detonación:** este conocido fenómeno se agrava por el aumento de la presión y la temperatura en el fluido de admisión, tras ser comprimido. Por este motivo, el grado de sobrealimentación en los motores de gasolina no puede ser excesivamente alto. Para evitar la detonación, la relación de compresión en motores sobrealimentados es inferior en comparación con los atmosféricos. La utilización de un intercooler para enfriar el aire presurizado a la salida del compresor, además de aumentar el rendimiento del motor, disminuye la tendencia a la detonación. El sistema de regulación de la presión de soplado también contribuye a la reducción de la combustión detonante. En este tipo de motores, se hace necesario un sistema de encendido electrónico que incorpore un mapa de adaptación del avance en función de diferentes parámetros, siendo uno de ellos la información proporcionada por el sensor de detonaciones.

> **Recuerda que...**
>
> El sensor de detonaciones es un transductor piezoeléctrico, instalado en las proximidades de la cámara de combustión, que detecta el fenómeno de la detonación.

- **Acoplamiento turbocompresor-motor alternativo:** el acoplamiento entre el turbocompresor y el motor térmico debe estar muy bien estudiado. En primer lugar, porque el turbocompresor es una máquina de flujo continuo y el motor alternativo es de flujo discontinuo. En segundo lugar porque en función de la geometría del compresor y del gasto másico de aire del motor, se establecerá un intervalo de revoluciones del motor en el que el turbocompresor tenga rendimiento óptimo. En el caso de los motores de gasolina, al trabajar en un margen de revoluciones amplio, debe elegirse un grupo turboalimentador que ofrezca un buen rendimiento en un rango de revoluciones lo más amplio posible.
- **Adaptación a la curva de par:** para que el motor sobrealimentado ofrezca una curva de par aceptable, óptima para la tracción del vehículo, es imprescindible algún sistema de regulación de la presión de soplado. Es necesario porque, en principio, el par tiende a aumentar en gran medida con el régimen de giro en un motor sobrealimentado. Si no existiera el sistema de regulación, se tiene un par demasiado pobre a bajos regímenes de motor, al poseer los gases de escape poca energía. Por otro lado, se tendría un par excesivamente alto a regímenes de motor superiores, además de poder alcanzar el turbocompresor unas revoluciones muy elevadas, que pueden dañarlo por sobrevelocidad.

> **Recuerda que...**
>
> El acoplamiento entre un turbocompresor y un motor de combustión interna alternativo consiste en elegir un tamaño de compresor y de turbina adecuados para conseguir:
>
> - Un valor de la densidad del aire adecuado para cada nivel de carga y régimen de giro del motor.
> - Un tiempo de respuesta del turbocompresor adecuado para el motor en el que va instalado.
> - Un nivel de carga, tanto mecánica como térmica, que no disminuya la fiabilidad del conjunto.

- **Control del dosado y su efecto en la temperatura de los gases de escape de la turbina:** en los motores de gasolina, la temperatura de los gases de escape es tan elevada que se podrían deteriorar rápidamente los álabes de la turbina. Esto se debe a que los motores de ciclo Otto funcionan con mezcla estequiométrica o prácticamente estequiométrica. Para controlar la temperatura de los gases de escape, se suelen utilizar mezclas algo más ricas cuando el motor funciona a altas revoluciones. Por el contrario, se emplean mezclas algo más pobres a bajo régimen, para que aumente la energía de los gases de escape, por incremento de temperatura, optimizando el rendimiento de la turbina. Por este motivo, el control del dosado en los motores sobrealimentados es más complejo que en los atmosféricos y, aunque existen motores sobrealimentados con carburador, los sistemas de inyección permiten un ajuste más preciso.
- **Ubicación de la mariposa de gases:** la posición relativa de la mariposa de gases con respecto al compresor tiene gran importancia, ya que influye en el funcionamiento del motor. Se pueden distinguir dos casos principales:
  - **Vehículos con carburador:** a su vez, pueden darse dos posibilidades:
    - » *Carburador antes del compresor:* en este caso el carburador es aspirado, como muestra la Figura 12.28. A continuación se enumeran las siguientes ventajas e inconvenientes:

      Ventajas:

      - ❒ Se favorece la homogeneización de la mezcla a su paso por el compresor.

© Ediciones Paraninfo

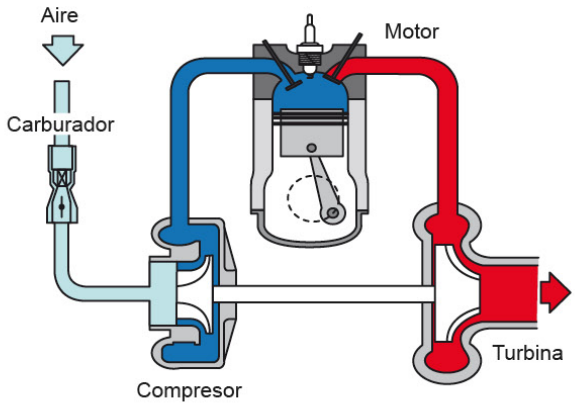


Figura 12.28. *Carburador antes del compresor.*

- Al ser un carburador aspirado, funciona como uno convencional.

Inconvenientes:

- No se puede instalar un intercooler porque la gasolina se condensaría en él.
- La estanqueidad del eje del turbocompresor debe reforzarse para evitar que el combustible se mezcle con el aceite. Esto se consigue instalando una junta de carbono en el lado del compresor.
- La mezcla tiene que recorrer un largo camino desde el carburador hasta la válvula de admisión, por lo que se dificulta el arranque en frío por condensación del combustible. Por este motivo hay que enriquecer la mezcla en el arranque en frío y durante las aceleraciones.
- Al producirse grandes variaciones de caudal se necesita un carburador de gran tamaño, normalmente de doble cuerpo y con una bomba de aceleración sobredimensionada.
- Por el hecho de ser un carburador aspirado, en el difusor se produce una gran restricción al paso de gases.

» *Carburador después del compresor:* el carburador es soplado, como representa la Figura 12.29, presentando las siguientes ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

- Posibilita la instalación de un intercooler ya que a través del compresor pasa únicamente aire.
- La hermeticidad del eje en el lado del compresor no es tan crítica.
- Se puede emplear un carburador de pequeñas dimensiones

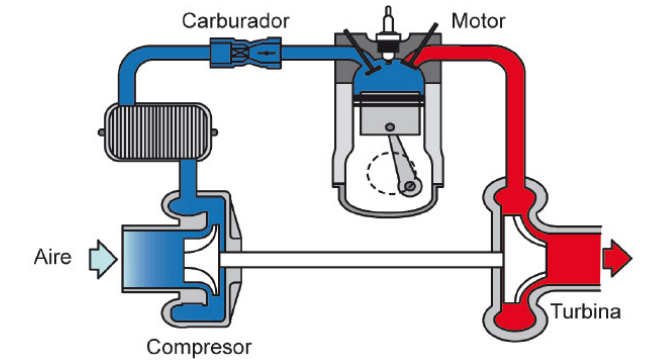


Figura 12.29. *Carburador después del compresor.*

Inconvenientes:

- El funcionamiento del carburador es más complejo por estar presurizado. Debe ser hermético y disponer de circuitos adicionales con dispositivos que regulen la apertura de surtidores suplementarios, para compensar la cantidad de aire extra aportado en la sobrealimentación. Todos los elementos que en un carburador aspirado trabajan con presión atmosférica están sometidos a la presión de sobrealimentación.
- Las pérdidas de carga producidas por el intercooler y por el difusor del carburador, hacen que la presión a la entrada de la válvula de admisión sea inferior a la que existe a la salida del compresor.

– **Motores con inyección:** también pueden darse dos configuraciones posibles:

» *Mariposa de gases antes del compresor:* esta disposición es mostrada en la Figura 12.30 y tiene las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- El régimen de giro del turbocompresor se mantiene cuando el motor funciona a cargas parciales,

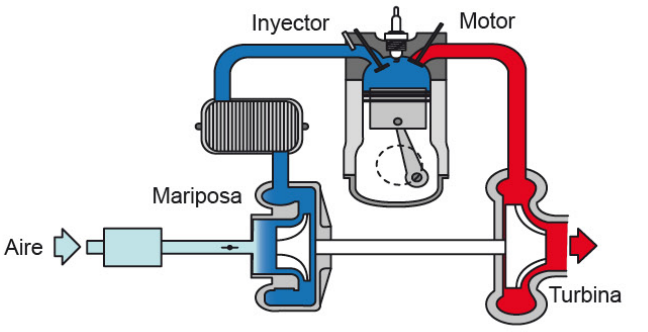


Figura 12.30. *Mariposa de gases antes del compresor.*

© Ediciones Paraninfo

disminuyendo el tiempo de respuesta. Esto es debido a que la presión a la entrada del compresor es inferior a la atmosférica. En consecuencia, se incrementa la velocidad de la turbina, y a su vez la del compresor, ofreciendo este menos resistencia al giro. Este fenómeno es comparable a cuando en un aspirador doméstico se tapona en parte la boca de aspiración, observándose una aceleración del motor eléctrico.

Inconvenientes:

- Aunque el tiempo de respuesta es menor, disminuye el rendimiento del compresor.

» *Mariposa de gases después del compresor:* la Figura 12.31 representa esta configuración, que aumenta ligeramente el rendimiento del compresor.

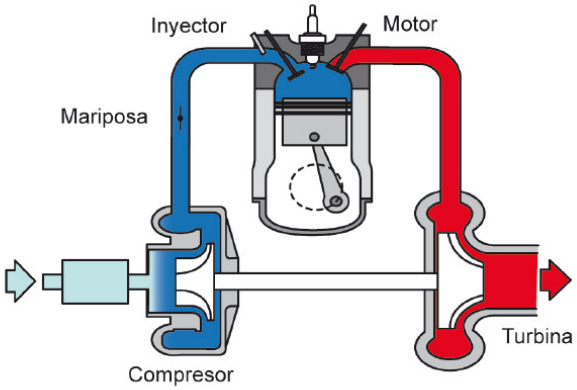


Figura 12.31. *Mariposa de gases después del compresor.*

12.4. Los turbocompresores en motores diésel

La sobrealimentación en motores diésel favorece la mezcla y la combustión, aumentando considerablemente el rendimiento del motor. En los motores de encendido por compresión, la regulación de la carga se lleva a cabo controlando la cantidad de combustible inyectado y admiten siempre la máxima cantidad de aire posible. Al maximizar el llenado del cilindro de aire, aumenta la presión y la temperatura del mismo al final de la compresión, iniciándose la combustión más rápidamente. Por otro lado, aumenta la turbulencia del aire, mejorando la formación de la mezcla.

Dado que en los motores diésel no existe el problema de la detonación, en principio, el grado de sobrealimentación puede ser elevado. Sin embargo, por limitaciones de las tensiones mecánicas, este valor está acotado y, además, la relación de compresión se reduce para no tener unos niveles de presión media efectiva demasiado altos.

Los problemas y soluciones adoptadas en cuanto al acoplamiento turbocompresor-motor térmico, adaptación a la curva de par y control del dosado, son similares a los de los motores de gasolina sobrealimentados. En cuanto al control del dosado, en las bombas de inyección mecánicas se dispone un corrector de humos, como el mostrado en la Figura 12.32, que controla el caudal máximo de inyección para que se produzca solo cuando la presión en el colector de admisión llega a un cierto valor. Por debajo de esa presión, se reduce el caudal con el fin de reducir las emisiones de humos. De lo contrario, se enriquecería la mezcla a bajas revoluciones, dado que el compresor introduce poca cantidad de aire al tener los gases de escape escasa energía. Esta corrección es mucho más precisa en sistemas con regulación electrónica.

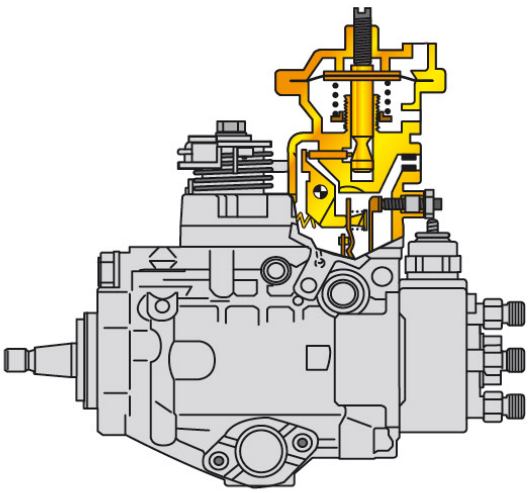


Figura 12.32. *Corrector de humos en una bomba de inyección rotativa de émbolo axial, también conocido como compensador de la presión en el colector de admisión o dispositivo LDA.*

Recuerda que...

En los motores diésel de dos tiempos es imprescindible un sistema de sobrealimentación para que la presión de admisión sea superior a la de escape. Cuando se quieren alcanzar niveles elevados de presión media efectiva en grandes motores de dos y cuatro tiempos, normalmente para aplicaciones industriales o marinas, se suele recurrir a la sobrealimentación en dos etapas, montando dos compresores en serie, con sistema de enfriamiento del aire a la salida de cada compresor.

© Ediciones Paraninfo

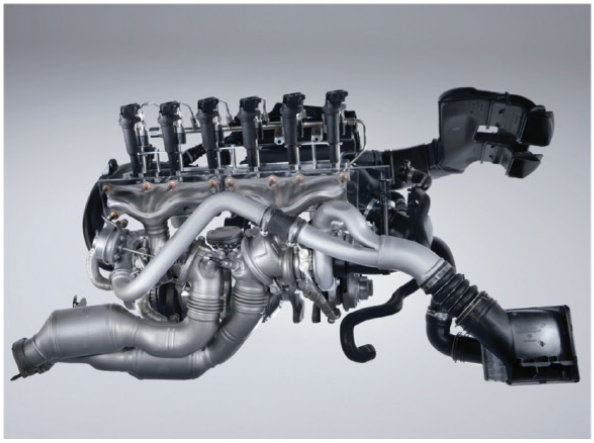
12.5. Combinación de compresores

12.5.1. Turbocompresores en paralelo

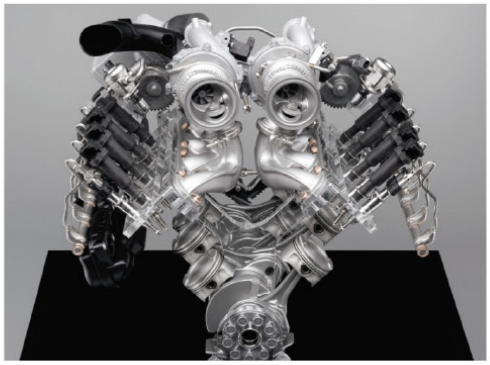
Para motores que tienen un gran número de cilindros, normalmente más de cuatro, se suelen instalar dos turbocompresores. En motores con cilindros en V o bóxer, se dispone un turbocompresor para cada bancada. Si el motor tiene los cilindros dispuestos en línea, se instala un compresor para la mitad de los cilindros y otro para el resto. La Figura 12.33 muestra diferentes disposiciones de turbocompresores en paralelo.

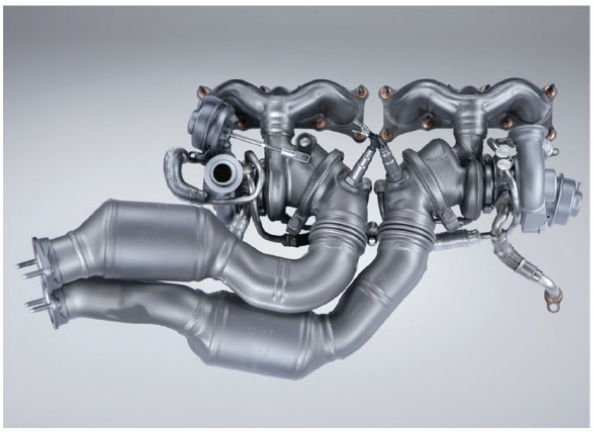
12.5.2. Turbocompresores en serie

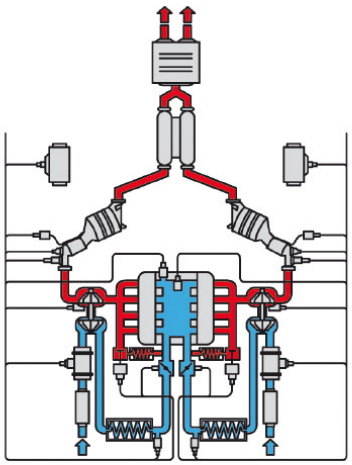
Como es sabido, en función del tamaño del turbocompresor, el rendimiento está optimizado para un rango de funcionamiento determinado del motor. Normalmente, turbocompresores de baja inercia hacen que el motor tenga unas buenas prestaciones a bajo y medio régimen. Por el contrario, los turbocompresores de alta inercia ofrecen las mejores prestaciones a partir de regímenes medios y altos. Una solución, aparte de las ya conocidas, como la regulación electrónica o turbocompresores de geometría variable, es el empleo de turbocompresores en serie que realizan la sobrealimentación en dos etapas. A continuación se va a explicar el funcionamiento de este sistema tomando como ejemplo el motor diésel 1.9 Twinturbo Multijet del grupo FIAT. Como muestra la Figura 12.34, se disponen dos turbocompresores en serie, uno compacto de baja inercia que asegura una rápida respuesta a regímenes bajos del motor y otro más grande de mayor inercia que suministra una elevada potencia a alto régimen. A modo de referencia, se consigue una potencia máxima de 190 CV a 4000 rpm y un par máximo de 400 Nm a 2000 rpm. Además, a tan solo 1250 rpm entrega un par de 300 Nm, lo que aumenta considerablemente la elasticidad del motor.



Dos turbocompresores en paralelo para un motor de 6 cilindros en linea



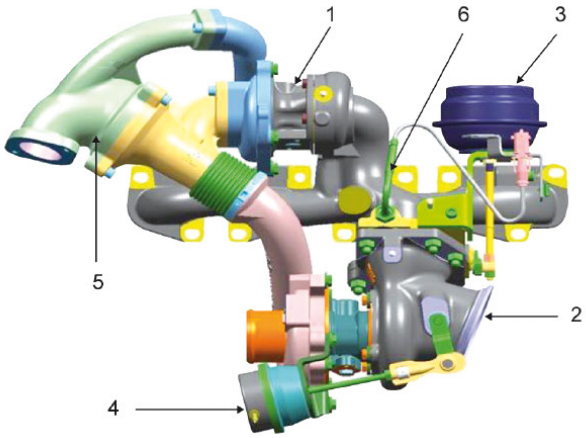




Dos turbocompresores en paralelo para un motor de 8 cilindros en V

Figura 12.33. *Turbocompresores en paralelo.*

© Ediciones Paraninfo

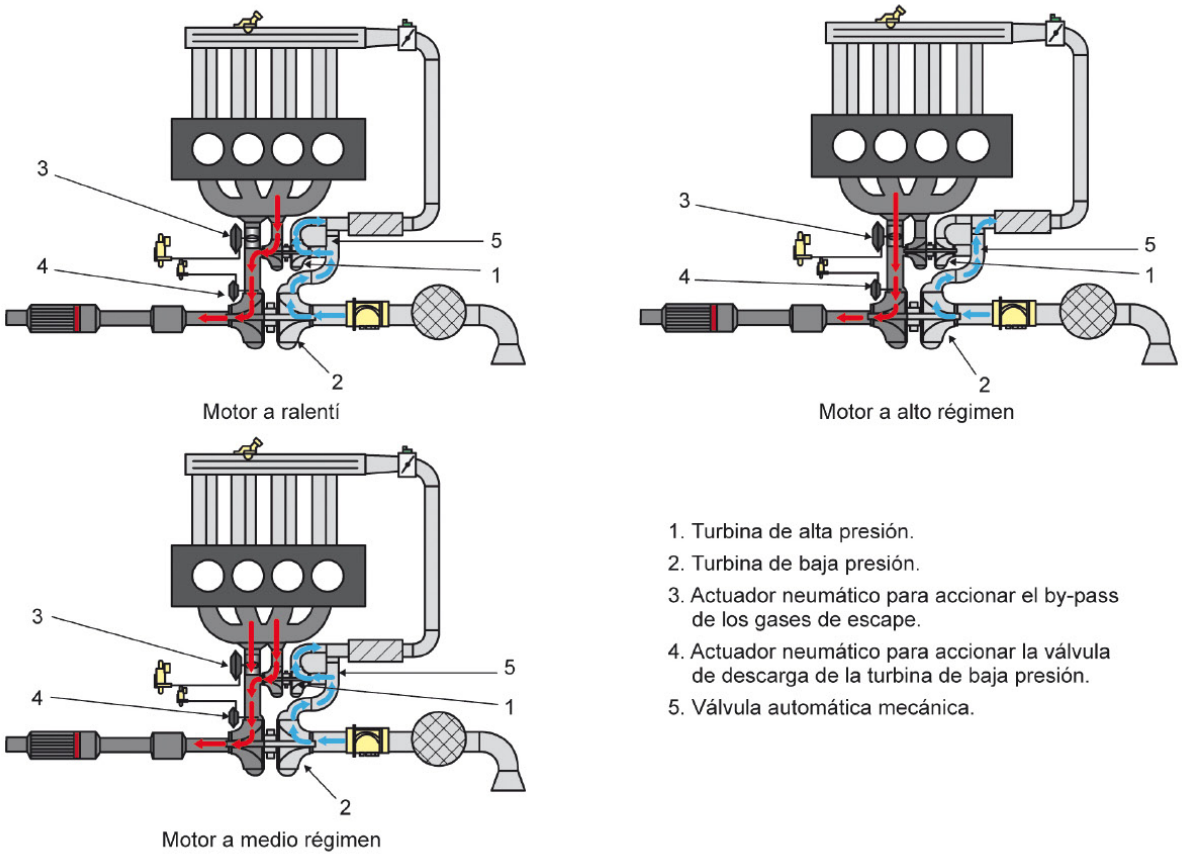


1. Turbina de alta presión.
2. Turbina de baja presión.
3. Actuador neumático para accionar el by-pass de los gases de escape.
4. Actuador neumático para accionar la válvula de descarga de la turbina de baja presión.
5. Válvula automática mecánica.
6. Sensor de temperatura de los gases de escape.

Figura 12.34. *Sistema de sobrealimentación con dos turbocompresores en serie.*

Las distintas fases de funcionamiento de este sistema se explican a través de la Figura 12.35, distinguiéndose tres casos:

- **Motor al ralentí:** el actuador neumático de la turbina de alta presión, controlado por la unidad de control a través de una electroválvula, cierra el by-pass de dicha turbina. La electroválvula regula la depresión aplicada al actuador neumático, generada por la bomba de vacío. En estas circunstancias, todos los gases de escape entran en la turbina de alta presión. El compresor asociado a esta turbina



1. Turbina de alta presión.
2. Turbina de baja presión.
3. Actuador neumático para accionar el by-pass de los gases de escape.
4. Actuador neumático para accionar la válvula de descarga de la turbina de baja presión.
5. Válvula automática mecánica.

Figura 12.35. *Funcionamiento de un sistema de sobrealimentación con dos turbocompresores en serie.*

© Ediciones Paraninfo

suministra la presión necesaria y el compresor de la turbina de baja presión no comprime aire.

- **Motor a medio régimen:** el by-pass de los gases de escape de la turbina de alta presión se regula a través del actuador neumático de esta turbina. Así, las turbinas de alta y baja presión son movidas por los gases de escape. El compresor de la turbina de baja presión precomprime el aire que luego se comprimirá a una presión mayor en el de la turbina de alta presión. La válvula automática mecánica está cerrada, porque la presión generada por el compresor de la turbina de baja presión es inferior a la generada por el compresor de alta presión.

- **Motor a alto régimen:** el by-pass de los gases de escape está abierto plenamente para que la totalidad de los mismos incida sobre la turbina de baja presión. Ahora, la válvula automática mecánica está abierta. Para controlar la presión máxima de sobrealimentación, la unidad de control gobierna la electroválvula que regula el actuador neumático que manda sobre la válvula de descarga. Para proteger el grupo sobrealimentador y el motor, en la salida de los gases de escape del colector se instala un sensor de temperatura. Cuando la temperatura de los gases de escape supera los 825 °C aproximadamente, la unidad de control limita las prestaciones modificando el tiempo de inyección.

12.5.3. Combinación de compresor mecánico y turbocompresor

Otra forma de obtener una presión de sobrealimentación adecuada para un rango amplio de funcionamiento del motor es instalando un sistema combinado de compresor mecánico y turbocompresor. Un ejemplo de esta configuración es la empleada en el motor de inyección directa de gasolina 1.4L TSI del grupo VAG, que se va a explicar a continuación. El esquema general del sistema es el mostrado en la Figura 12.36. El compresor mecánico es accionado por el motor a través de una correa, conectándose y desconectándose por medio de un embrague electromagnético controlado por la unidad de control. Una chapaleta de regulación también es gobernada por la unidad de control a través de un servomotor y se instala en un circuito paralelo al compresor mecánico para regular la presión generada por el mismo. El turbocompresor es de geometría fija con regulación por válvula de descarga de accionamiento neumático, que a su vez es controlada por la unidad de control a través de una electroválvula. El turbocompresor incorpora una válvula de alivio en el lado del compresor, que permite la recirculación del aire en el mismo. El aire presurizado es enfriado por un intercooler antes de entrar en el colector de admisión.

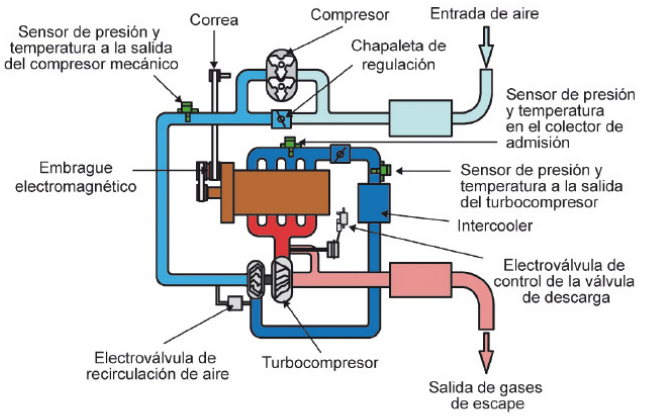


Figura 12.36. *Esquema general del sistema combinado de compresor mecánico y turbocompresor.*

A continuación se van a explicar pormenorizadamente los elementos más importantes de este sistema:

- **Turbocompresor:** está diseñado para ofrecer su máximo rendimiento a alto régimen de giro del motor. Es de geometría fija regulado por válvula de descarga y está refrigerado por agua. La presión máxima de soplado se controla con una electroválvula, que regula la posición de la válvula de descarga a través de un actuador neumático. La electroválvula de recirculación de aire se monta sobre la carcasa del compresor y evita el frenado del turbocompresor en las desaceleraciones. La Figura 12.37 muestra este turbocompresor y sus elementos principales.

- **Compresor mecánico:** está unido al bloque del motor y recibe el movimiento del mismo a través de una correa, con una relación de transmisión que permite que el compresor alcance un régimen máximo de 17 500 rpm. El compresor

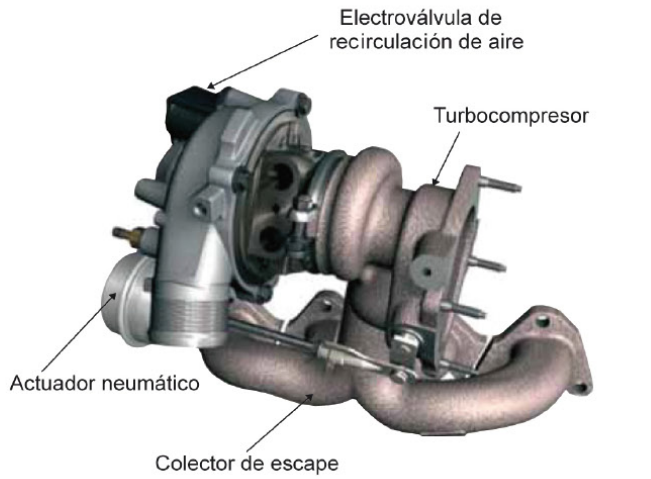


Figura 12.37. *Turbocompresor y sus elementos principales.*

© Ediciones Paraninfo

se acopla y desacopla del motor por medio de un embrague electromagnético, representado en la Figura 12.38. Cuando la unidad de control lo estima oportuno, excita el bobinado del embrague y hace que la polea de la bomba de agua y la del compresor se muevan solidarias, entrando en funcionamiento el compresor. La excitación se produce con tensión directa de batería cuando el motor gira a menos de 1000 rpm y se produce con una señal de tipo PWM por encima de este régimen para que las poleas se acoplen suavemente.

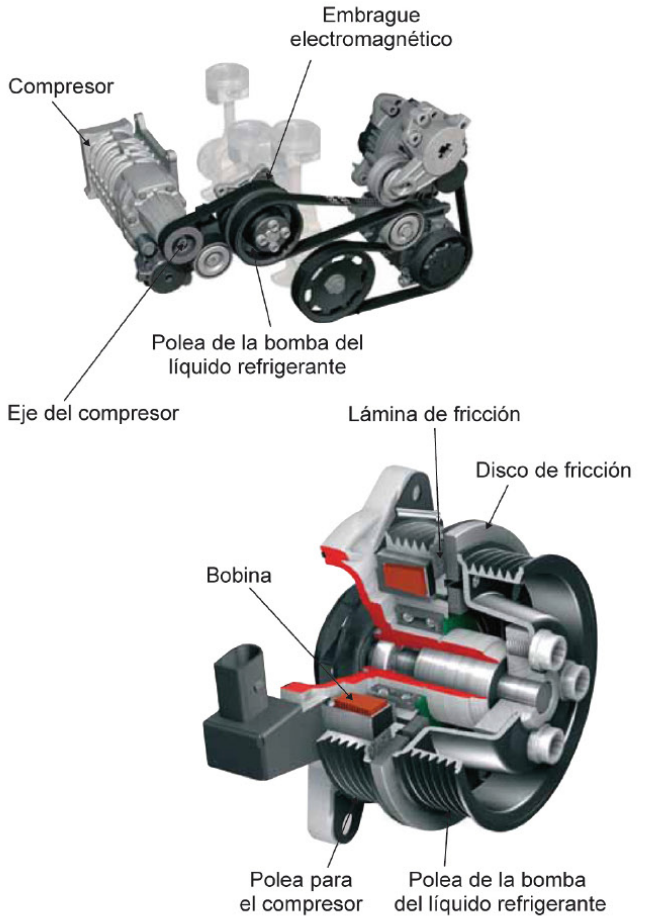


Figura 12.38. *Embrague electromagnético del compresor mecánico.*

Si se avería el embrague electromagnético, no se puede accionar el compresor mecánico.

Los elementos principales del compresor mecánico pueden verse en la Figura 12.39. La polea de accionamiento está unida al eje del compresor y lo mueve cuando el embrague electromagnético está acoplado. En el eje del compresor va montado un piñón primario, que hace girar en sentido contrario a otro secundario. Cada uno de estos piñones transmite el movimiento a sus respectivos rotores del compresor.

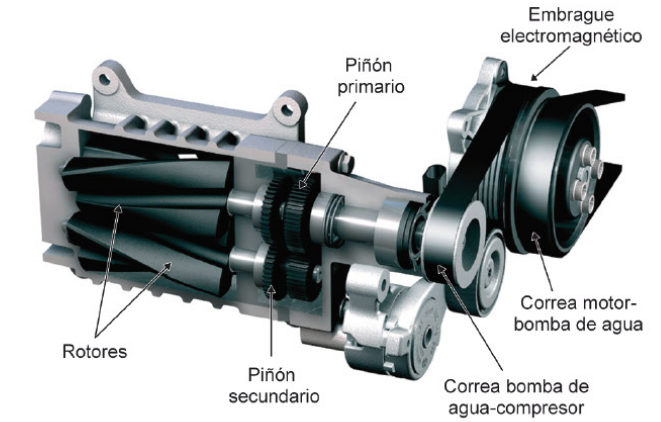


Figura 12.39. *Elementos principales del compresor mecánico.*

En caso de avería del compresor mecánico, hay que sustituirlo en conjunto.

El funcionamiento del compresor mecánico se explica en la Figura 12.40. El giro de los rotores genera una zona de aspiración y otra de impulsión. Al ser un compresor de tornillo, el aire es comprimido al pasar por su interior, saliendo presurizado hacia el turbocompresor. El control de la presión a la salida del compresor se realiza con una chapaleta de regulación. Cuando está cerrada, todo el aire comprimido se dirige hacia el turbocompresor. Controlando su apertura, se puede regular el aire comprimido, de forma que parte retorna al lado de aspiración del compresor y parte se dirige al compresor. Así, se puede gobernar la presión de sobrealimentación.

Dadas las características del compresor mecánico, este puede generar un nivel de ruido elevado, perceptible y molesto para el oído humano, durante su funcionamiento. Por este motivo se instalan elementos para aislarlo acústicamente, como muestra la Figura 12.41. Estos ruidos se deben fundamentalmente al accionamiento mecánico de los rotores y a la aspiración y compresión del aire. Se suelen instalar dos silenciadores, uno a la entrada y otro a la salida del compresor, además de espumas aislantes que rodean todo el conjunto.

La percepción y molestia de un ruido depende fundamentalmente de su nivel y de su frecuencia.

- **Intercooler:** se instala en la parte frontal del vehículo, como puede verse en la Figura 12.42 y con él se consiguen las ya conocidas mejoras, como la optimización del llenado con el aumento de la densidad del aire por disminución de su temperatura, la reducción de la tendencia a la detonación y las menores emisiones de óxidos de nitrógeno.

© Ediciones Paraninfo

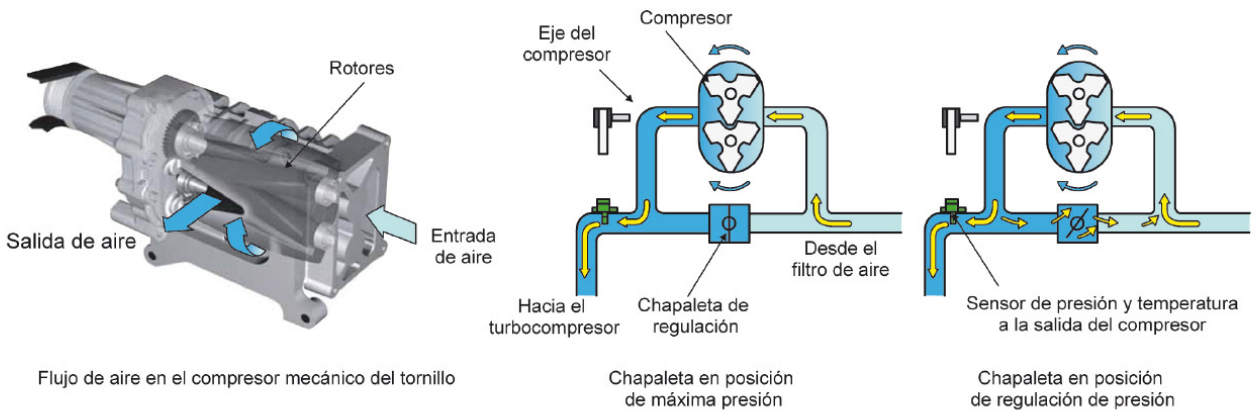


Figura 12.40. *Funcionamiento del compresor mecánico.*

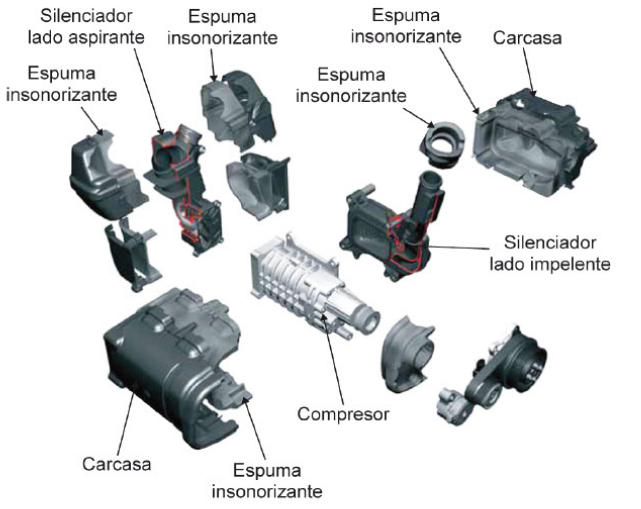


Figura 12.41. *Elementos para aislar acústicamente el compresor mecánico.*

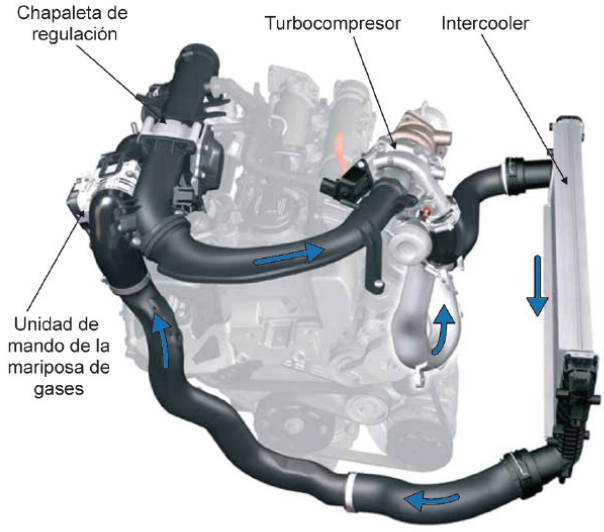


Figura 12.42. *Intercooler.*

- **Sensores y actuadores:** la unidad de control estima el valor teórico de la presión de sobrealimentación en función del régimen de giro y del grado de carga del motor, pudiendo ser corregido con la información de sensores como el de temperatura del líquido refrigerante, el de temperatura del aire aspirado, el de altitud y el de posición del pedal del acelerador. Posteriormente, para conseguir dicho valor de presión, actúa sobre el embrague electromagnético del compresor, la chapaleta de regulación del compresor, la electroválvula de control de presión del turbocompresor y la electroválvula de alivio del mismo.

Si el sensor de temperatura a la salida del compresor mecánico detecta un valor superior a 103 °C, la unidad de control desacopla el compresor para evitar que afecte gravemente al turbocompresor.

A continuación, tomando como referencia la Figura 12.43, se van a explicar las fases de funcionamiento del sistema combinado de compresor mecánico y turbocompresor, que son las siguientes:

- **Bajo régimen:** cuando el motor gira a menos de 2400 rpm, la presión de soplado es generada únicamente por el compresor mecánico y su control es llevado a cabo a través de la chapaleta de regulación, accionada por un servomotor gobernado por la unidad de control. La presión de sobrealimentación máxima absoluta generada por el compresor se limita a 2,5 bar. La modulación de la presión se realiza tomando como información la señal del sensor de presión y en función de la misma se actúa sobre la chapaleta de regulación.
- **Medio régimen:** si el motor gira entre 2400 y 3500 rpm, la presión de sobrealimentación se genera en parte por

© Ediciones Paraninfo

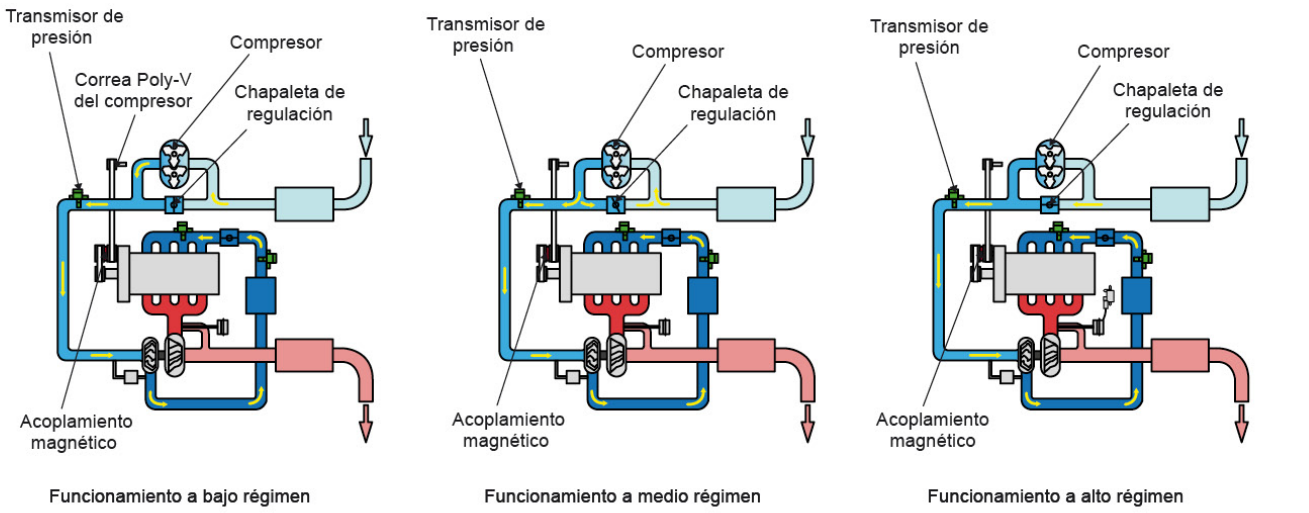


Figura 12.43. *Funcionamiento del sistema combinado de compresor mecánico y turbocompresor.*

el compresor mecánico y en parte por el turbocompresor, aunque principalmente por este último. Si se produce una brusca aceleración, la chapaleta de regulación del compresor mecánico se cierra y se pone en marcha el compresor, de forma puntual, para mejorar la respuesta del motor. Cuando se ha alcanzado el par motor objetivo, el compresor se desacopla y la chapaleta se vuelve a abrir.

- **Alto régimen:** por encima de 3500 rpm, la presión de sobrealimentación se genera únicamente por el turbocompresor. El compresor mecánico se desacopla y la chapaleta de regulación permanece abierta. La presión de sobrealimentación se regula a través de la electroválvula gobernada por la unidad de control, que modifica la posición de la válvula de descarga por medio de su actuador neumático. La presión máxima absoluta está limitada a 2 bar. La unidad de control monitoriza la presión real de soplado con la información proveniente del sensor de presión situado en el colector de admisión después del turbocompresor.

12.5.4. Combinación de compresor eléctrico y turbocompresor

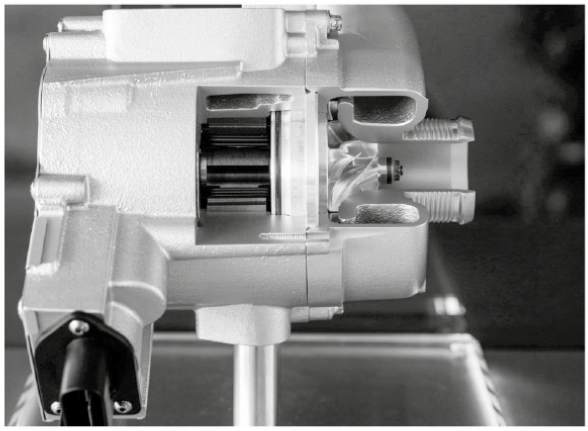
Uno de los problemas que tienen los motores sobrealimentados con turbocompresor es el retraso que se produce entre la demanda de potencia y la entrada en funcionamiento del turbocompresor, denominado *turbo lag*. Para reducir este fenómeno, los fabricantes han implementado diferentes soluciones constructivas, como por ejemplo la combinación de sobrealimentadores distintos en un mismo motor. Algunas marcas empiezan a combinar un compresor eléctrico y un turbocompresor, teniendo un conjunto como el que aparece en la Figura 12.44, que corresponde a un motor diésel de seis cilindros en V y se explica a continuación. El compresor eléctrico se instala después del turbocompresor, tras el *intercooler*, siendo accionado por un motor eléctrico. Cuando el motor funciona a bajo régimen de giro y se demanda carga, no existe suficiente cantidad de gases de escape que hagan que el turbocompresor alcance la velocidad necesaria para generar presión de sobrealimentación. Con este sistema, en situaciones de bajo régimen de giro del motor, el aire comprimido en el turbocompresor pasa por el *intercooler* y llega al compresor eléctrico, que lo vuelve a comprimir y lo introduce en el colector de admisión. De esta forma se consigue una elevada entrega de par a bajas revoluciones. En otras condiciones operativas del motor el compresor eléctrico permanece desactivado y el control del aire hacia el mismo se gestiona por la unidad de control del motor a través de una electroválvula de *by-pass*.

12.6. Mantenimiento, averías y comprobaciones

12.6.1. Mantenimiento

Los compresores y los turbocompresores no requieren ninguna operación de mantenimiento especial. En el caso de motores con turbocompresor, es aún más importante la sustitución del aceite y del filtro de aceite que en los motores atmosféricos. Esto se debe a las condiciones de trabajo del turbocompresor y a las ya estudiadas funciones del

© Ediciones Paraninfo


Compresor eléctrico

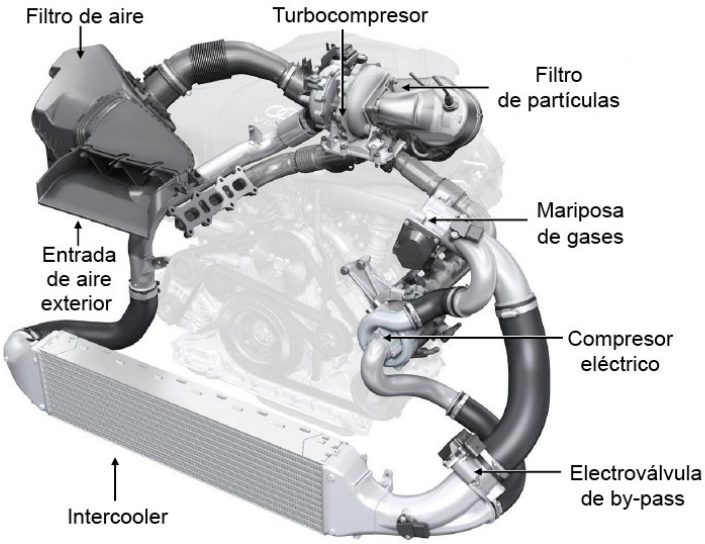


Figura 12.44. *Combinación de compresor eléctrico y turbocompresor para un motor diésel de seis cilindros en V.*

lubricante, que debe estar perfectamente filtrado y mantener sus cualidades. Por este motivo hay que respetar los intervalos de mantenimiento prescritos por el fabricante y sustituir el aceite y el filtro de aceite por otros iguales o equivalentes. La estanqueidad del circuito de admisión y el buen estado del filtro del aire es muy importante, ya que si entran partículas en el compresor podría dañarse gravemente al impactar contra sus álabes, como muestra la Figura 12.45.

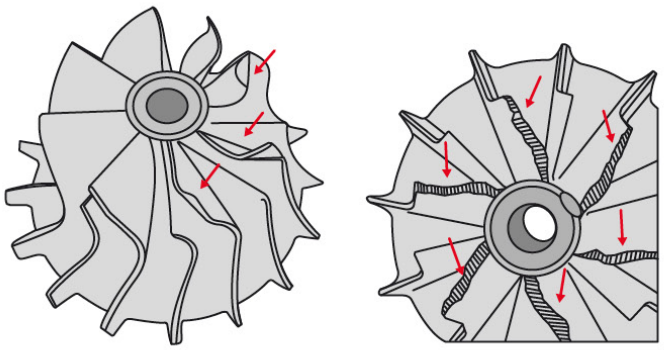


Figura 12.45. *Daños en los álabes del compresor.*

12.6.2. Averías

Dado que los turbocompresores tienen unas condiciones de funcionamiento más críticas que los compresores mecánicos, a continuación se van a citar las averías más frecuentes y sus posibles causas:

- **Falta de potencia del motor:**
  - Avería en el motor o algún sistema auxiliar del mismo.
  - Fuga de aire en el conducto de admisión o en el intercooler.
  - Acumulación de suciedad en el turbocompresor.
  - Rodetes defectuosos.
  - Agarrotamiento del eje.
  - Fallo en el sistema de regulación de la presión de sobrealimentación.
- **Humo negro en el tubo de escape:**
  - Filtro de aire colmatado.
  - Conducto de admisión obstruido.
  - Otras causas similares al caso de falta de potencia del motor, que suele ir asociada a la emisión de humos negros.
- **Humo azul en el tubo de escape:**
  - Falta de estanqueidad de los cojinetes.
  - Falta de estanqueidad de las juntas del compresor y de la turbina.
  - Obstrucción del conducto de drenaje de aceite al cárter.
- **Ruidos y vibraciones en el turbocompresor:**
  - Existe una fuga de aire.
  - El eje del turbocompresor está desequilibrado por deterioro de los cojinetes.
  - Los álabes de la turbina o del compresor están dañados.
  - Los rodetes rozan con sus carcasas.
  - Hay algún cuerpo extraño en el turbocompresor.

© Ediciones Paraninfo

En muchos motores con turbocompresor, se emiten ciertos ruidos característicos, como por ejemplo un silbido o ruido de sirena que en ocasiones no está asociado a una avería, sino que debido al diseño de los conductos o a tolerancias de los cojinetes, son característicos de esa aplicación concreta.

- **Presión de sobrealimentación inadecuada:**
  - Defecto del sistema de regulación de la presión de sobrealimentación.

Los compresores mecánicos, principalmente los volumétricos, pueden generar un ruido excesivo. Esto puede deberse a un exceso juego de los cojinetes y al roce entre los rotores, por lo que habría que proceder a su desmontaje y verificación. Si el motor acusa una falta de potencia, puede ser que el juego entre los rotores sea excesivo o que el sistema de regulación de la presión de sobrealimentación esté defectuoso.

12.6.3. Comprobaciones

A continuación se van a explicar las operaciones más habituales sobre los turbocompresores, por ser un sistema de sobrealimentación más extendido que los compresores mecánicos.

- **Comprobación de la presión de sobrealimentación:** suponiendo un motor con turbocompresor regulado por válvula de descarga sin gestión electrónica, para llevar a cabo esta operación hay que instalar un manómetro de la escala adecuada en el tubo de conexión al actuador neumático de regulación de la válvula de descarga o de los álabes orientables en sistemas con geometría variable, según el caso. Posteriormente, se arranca el motor y se lleva a la temperatura de régimen. Después se comprueba que el turbocompresor suministra la presión de sobrealimentación prescrita por el fabricante. Para ello, hay que someter el motor a plena carga, bien sea en marcha o sobre un banco de rodillos, siendo esta última operación más segura. Si la presión es inferior al valor prescrito debe comprobarse que no existen fugas por los manguitos de aire. Muchos vehículos incorporan en la instrumentación del cuadro un manómetro, como el mostrado en la Figura 12.46, para que el conductor observe la evolución de la presión de sobrealimentación y que en ningún caso supere el límite de seguridad.

- **Comprobación de la estanqueidad en general:** hay que comprobar visualmente que no existen fugas en las tuberías y entradas de aceite y líquido refrigerante al turbocompresor. También se verificará el apriete de las abrazaderas de los manguitos de aire, a la salida del compresor, a la entrada y salida del intercooler y a la entrada del colector de admisión. La Figura 12.47 muestra alguno de estos puntos críticos.

Figura 12.46. *Manómetro del cuadro de instrumentos.*

Figura 12.47. *Puntos susceptibles de fugas de aire, aceite o líquido refrigerante.*

- **Comprobación del mecanismo de regulación neumático:** en el caso de no obtener un valor de presión de sobrealimentación conforme con las especificaciones del fabricante, habiendo comprobado que el motor funciona correctamente y que no existen fugas de aire, se procederá a la comprobación y reglaje del mecanismo de regulación neumático, como muestra la Figura 12.48. Esto es posible hacerlo principalmente en sistemas que no disponen de regulación electrónica de la presión de soplado. Puede hacerse sin desmontar el turbocompresor.

© Ediciones Paraninfo

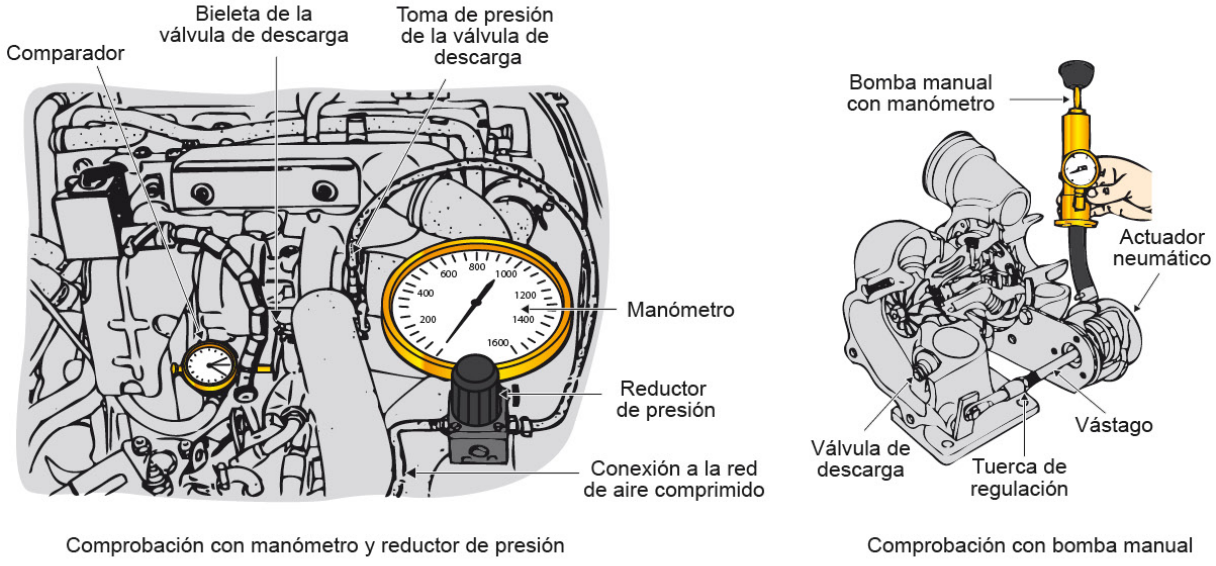


Figura 12.48. *Comprobación del mecanismo de regulación neumático.*

Es necesario un manómetro con reductor de presión incorporado, si se va a conectar a una instalación de aire comprimido, o bien una bomba manual con manómetro. Además, hay que emplear un reloj comparador sostenido por una base magnética, por ejemplo. Se aplica presión al actuador neumático y en función del valor de la misma, se mide el desplazamiento del vástago que mueve el actuador, comparando los valores de presión y desplazamiento con los prescritos por el fabricante. Un ejemplo podría ser un desplazamiento de 4,2 mm para 0,5 bar de presión.

Si el valor no es correcto, se ajusta la longitud del vástago actuando sobre la tuerca de su prolongador roscado, como muestra la Figura 12.49. Esta operación suele ser necesaria para compensar el envejecimiento de la membrana del actuador neumático.

La tuerca de regulación de la longitud del vástago viene precintada de fábrica, normalmente con una marca de pintura. Su manipulación debe hacerse solo en caso necesario y nunca sobrepasar el valor de presión de sobrealimentación prescrito, ya que se obtendría más potencia a cambio de aumentar el riesgo de daños en el motor y en el turbocompresor.

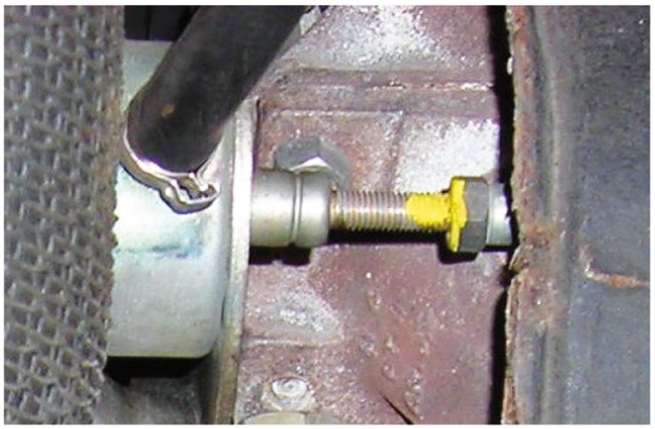


Figura 12.49. *Tuerca para la modificación de la longitud del vástago del actuador neumático.*

- **Desmontaje del turbocompresor:** cuando es necesario sustituir el turbocompresor, realizar otras comprobaciones o proceder a su desarmado, hay que desmontarlo del motor. Para ello se seguirán las instrucciones del manual del fabricante y se taponarán los conductos de aire, aceite y líquido refrigerante que queden acoplados en el motor, con el fin de evitar la entrada de partículas. Posteriormente se procederá a su limpieza. Una vez limpio, se puede medir el juego axial y el juego radial, como aparece en la Figura 12.50. Para ello es necesario un reloj comparador y algún elemento que le sirva de soporte y fijación. La medición del juego axial se realiza instalando el palpador perpendicularmente a los rodetes y sobre uno de los extremos del eje. Después se mueve el eje a mano de tope a tope en sentido axial y se anota la medida. El juego entre ambos topes debe estar dentro de los límites del fabricante, pudiéndose tomar un valor de referencia de entre 0,02 y 0,10 mm. Para la verificación del juego radial se introduce el palpador por el orificio

© Ediciones Paraninfo

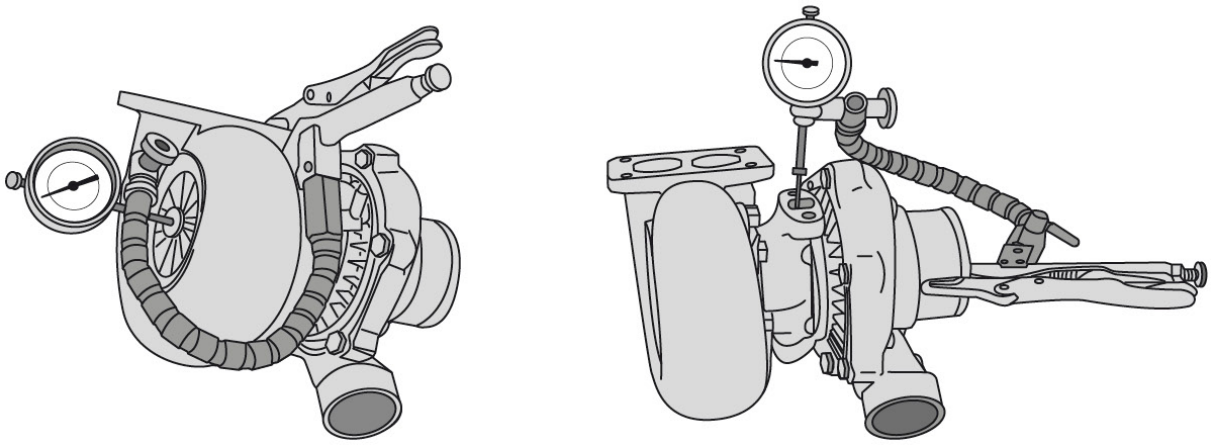


Figura 12.50. *Comprobación del juego axial y radial.*

de engrase para que apoye sobre el eje de forma perpendicular. Seguidamente se moverá el eje en sentido radial de tope a tope con la mano, anotando la medida y comparándola con el valor prescrito. A modo de referencia, el juego radial estará comprendido entre 0,07 y 0,2 mm.

Recuerda que...

Al volver a montar el turbocompresor en el motor, se debe cebar el circuito de lubricación para evitar que el eje gire en seco y se dañe. Para ello se acciona el motor de arranque sin llegar a la puesta en marcha del motor térmico, por ejemplo, desconectando el sistema de encendido en un motor de gasolina o la electroválvula de corte de combustible de la bomba de inyección en un motor diésel.

- **Desarmado del turbocompresor:** si las medidas del juego axial y del juego radial se encuentran fuera de los valores especificados, o en caso de que se fugue aceite a través del eje del compresor, es necesario cambiar los cojinetes o los sellos de estanqueidad. Para ello hay que desarmar el turbocompresor. El proceso de desarmado debe hacerse muy cuidadosamente, por la precisión de las piezas y por el equilibrado del conjunto. Por este motivo, esta operación suele ser llevada a cabo por talleres especializados que, tras la sustitución, equilibran el turbocompresor en unas máquinas especiales destinadas a ese fin. En cualquier caso, siempre que se desarme el turbocompresor, la operación más delicada es la separación del rodete del compresor del eje, para que este último y el rodete de la turbina se puedan extraer por el lado contrario. Antes de aflojar la tuerca del rodete del compresor es necesario marcar la posición relativa entre la misma, el rodete y el eje, de cara al equilibrado. Cuando esté desmontado, se puede verificar la excentricidad del eje y de cada uno de los rodetes, como indica la Figura 12.51. Para llevar a cabo esta operación se necesita un reloj comparador y los soportes correspondientes para este y las piezas a medir. Si el eje y los rodetes están correctos, se puede reconstruir el turbocompresor sustituyendo los cojinetes y los sellos de estanqueidad.

Cuando se desarme el turbocompresor, además de marcar la posición relativa entre la tuerca del compresor, el rodete del compresor y el eje, puede ser necesario marcar la posición relativa de las carcasas del compresor y de la turbina con el alojamiento central.

Recuerda que...

Antes de aflojar la tuerca del rodete del compresor hay que conocer el sentido de giro de apriete, ya que en ocasiones estas tuercas aprietan a izquierdas para no aflojarse por la inercia del movimiento. A la hora de apretar, siempre hay que hacerlo al par especificado.

En el caso de los compresores volumétricos como los de lóbulos o los de tornillo, también puede ser necesaria la sustitución de los cojinetes de los rotores con el tiempo, sobre todo cuando su sonoridad empieza a aumentar progresivamente. En el desarmado habrá que marcar la posición relativa entre los rotores y sus engranajes para colocarlos correctamente en el montaje. Además, siempre habrá que comprobar que no existan marcas o daños en las superficies de los rotores.

© Ediciones Paraninfo

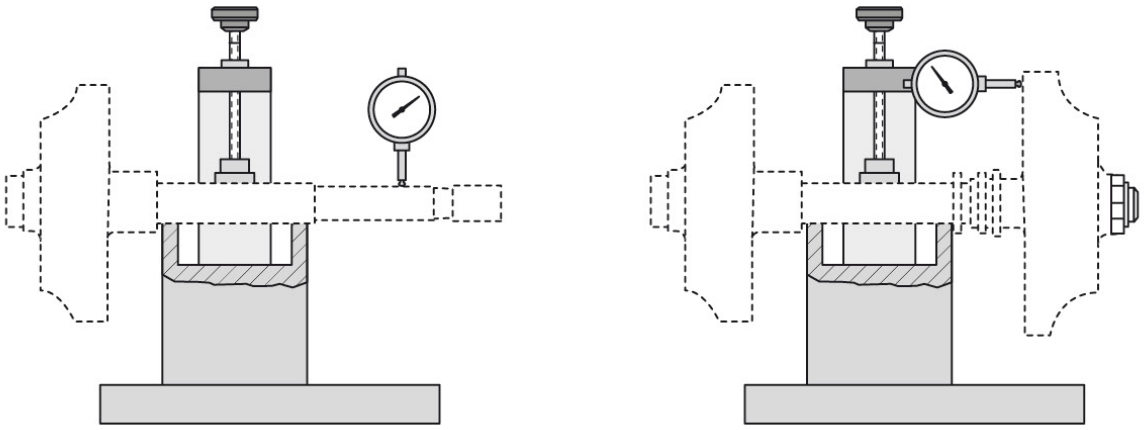
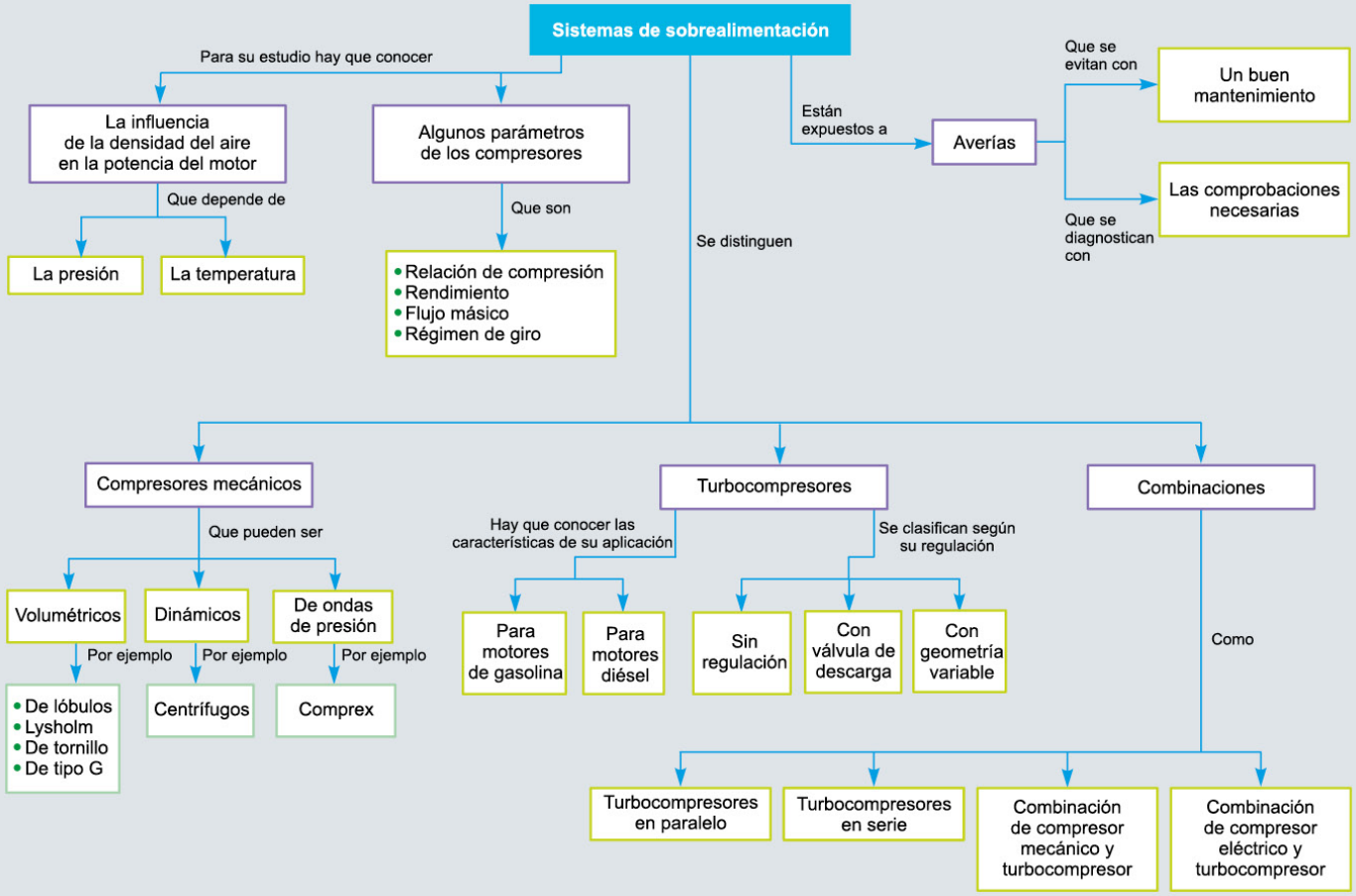


Figura 12.51. *Comprobación de la excentricidad del eje y del rodete.*

- **Comprobaciones de los elementos de gestión electrónica:** en los sistemas de sobrealimentación que dispongan de gestión electrónica de la presión de soplado hay que hacer determinadas comprobaciones eléctricas. Los elementos más importantes son las electroválvulas de control de la presión de sobrealimentación y la electroválvula de alivio para la recirculación de aire por el compresor. Habrá que comprobar la alimentación a las electroválvulas procedente de la unidad de control. Después se verificará su funcionamiento. En el caso de las electroválvulas de control por presión, se instalarán dos manómetros, uno a la salida regulada de la electroválvula y otro a la entrada de presión de la misma. Cuando la unidad de control excite la electroválvula, la presión a la salida ha de ser menor que la presión a la entrada, siendo iguales cuando no la excite. Para el caso de las electroválvulas de control por depresión, una vez comprobado el funcionamiento de la bomba de vacío, se instala un vacuómetro a la salida regulada de la electroválvula y con un voltímetro u osciloscopio se comprueba que la depresión aumenta según lo hace la tensión de alimentación de la electroválvula.

© Ediciones Paraninfo



© Ediciones Paraninfo

COMPRUEBA

12.1. Para aumentar la potencia de un motor se puede:

a) Aumentar la cilindrada.

b) Aumentar el régimen de giro.

c) Aumentar la densidad del aire.

d) Todas las anteriores.

12.2. La relación de compresión de un compresor se define como:

a) La presión del aire a la salida del compresor entre la presión a la entrada.

b) La presión del aire a la entrada del compresor entre la presión a la salida.

c) La presión del aire a la entrada del compresor entre la presión atmosférica.

d) La presión del aire a la entrada del compresor entre la presión de los gases de escape a la salida de la turbina.

12.3. En un compresor centrífugo el aire entra a:

a) Alta presión y alta velocidad.

b) Alta presión y baja velocidad.

c) Baja presión y alta velocidad.

d) Baja presión y baja velocidad.

12.4. La instalación de un intercooler:

a) Aumenta la potencia del motor.

b) Reduce las emisiones de NO_X.

c) Aumenta las pérdidas de carga.

d) Todas las anteriores.

12.5. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones referidas a los turbocompresores es cierta?

a) La carcasa y el rodete del compresor se fabrican en fundición de hierro.

b) El rodete de la turbina se suelda al eje por fricción.

c) El conjunto se equilibra añadiendo material donde falta.

d) Su lubricación requiere un escaso caudal de aceite.

12.6. En un turbocompresor de geometría variable, para acelerar la turbina, los álabes orientables:

a) Adoptan una posición abierta, aumentando la sección de paso del flujo los gases de escape.

b) Adoptan una posición abierta, disminuyendo la sección de paso del flujo los gases de escape.

c) Adoptan una posición cerrada, aumentando la sección de paso del flujo los gases de escape.

d) Adoptan una posición cerrada, disminuyendo la sección de paso del flujo los gases de escape.

12.7. ¿En cuál de las siguientes disposiciones de turbocompresor en un motor de gasolina no se puede instalar un intercooler?

a) Con el compresor antes del carburador.

b) Con el compresor después del carburador.

c) Con el compresor antes de la mariposa de gases de un motor con inyección.

d) Con el compresor después de la mariposa de gases de un motor con inyección.

12.8. En un sistema de sobrealimentación con dos turbocompresores en serie, la turbina de alta presión es la que está:

a) A la salida del colector de escape.

b) Después de la primera turbina.

c) Depende del tipo de motor.

d) Ninguna de las anteriores.

12.9. En un motor sobrealimentado con turbocompresor, una falta de potencia puede deberse a:

a) Una fuga de aire.

b) El agarrotamiento del eje.

c) Un fallo en el sistema de regulación de presión.

d) Todas las anteriores.

12.10. En un motor sobrealimentado con turbocompresor, la presencia de ruidos y vibraciones anómalos puede deberse a:

a) Una fuga de aire.

b) Un desequilibrio del eje.

c) Daños en los álabes de la turbina o del compresor.

d) Todas las anteriores.

REALIZA

12.11. Calcular la potencia y la densidad del aire de un motor cuya potencia normalizada es 100 kW a 760 mmHg y 20 °C, si las condiciones atmosféricas son 800 mmHg y 15 °C.

© Ediciones Paraninfo

12.12. Nombrar cuatro ventajas y cuatro inconvenientes de los sistemas de sobrealimentación.

12.13. Buscar información acerca de motores que monten diferentes combinaciones de compresores y analizar los elementos y funcionamiento de cada sistema.

12.14. Tomar un vehículo o maqueta con un motor sobrealimentado. Identificar los elementos que componen el sistema y analizar su funcionamiento. Estudiar el sistema de regulación de la presión de sobrealimentación que incorpora.

12.15. Tomar un turbocompresor del taller y proceder a su desarmado, identificando todas las piezas y analizando su función en el turbocompresor. Marcar la posición de todos los elementos, especialmente de los que influyen en el equilibrado, para su posterior montaje.

© Ediciones Paraninfo

Sistemas anticontaminación

13

CONTENIDOS

13.1. La reacción de combustión y sus productos
13.2. Evolución de la normativa anticontaminación
13.3. Evolución de los vehículos y de los motores térmicos para reducir las emisiones contaminantes
13.4. El reciclado de los vapores de aceite
13.5. El reciclado de los vapores de gasolina
13.6. La inyección de aire en el escape
13.7. Los catalizadores y las sondas lambda
13.8. El sistema de recirculación de los gases de escape EGR
13.9. El catalizador-acumulador de NO_x
13.10. El filtro de partículas en los motores diésel DPF
13.11. El sistema de reducción catalítica selectiva SCR
13.12. El diagnóstico de los gases de escape
13.13. El diagnóstico de a bordo

OBJETIVOS

- Conocer los productos de la combustión real de los motores térmicos.
- Entender la evolución de la normativa anticontaminación.
- Estudiar los diferentes sistemas anticontaminación de los motores de combustión interna.
- Analizar los sistemas de control de las emisiones contaminantes en los motores de automoción.

La reacción de combustión real de un motor térmico da lugar a una serie de productos que, de no ser tratados, pueden resultar nocivos para el ser humano a la vez que perjudiciales para el medio ambiente.

En este capítulo se van a explicar los diferentes sistemas anticontaminación que se han incorporado a los motores de combustión interna, a medida que ha ido evolucionando la normativa correspondiente.

13.1. La reacción de combustión y sus productos

La reacción de combustión completa ideal entre un combustible, como un hidrocarburo (HC), y un comburente, como el oxígeno (O), tiene como únicos productos dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), como representa la Figura 13.1.

$$HC + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$$

Figura 13.1. *Reacción de combustión ideal.*

En el proceso de combustión real, el oxígeno es tomado del aire atmosférico, que contiene otros gases como el nitrógeno o vapor de agua, por ejemplo. El combustible, además, puede contener otros elementos aparte del hidrógeno y del carbono, como el azufre. Por otro lado, la reacción no se produce de forma completa. Debido a esto, tras la combustión se pueden generar determinadas sustancias contaminantes, representadas esquemáticamente en la Figura 13.2.

A continuación se van a explicar las características más importantes de las sustancias presentes en los gases de escape:

- **Nitrógeno (N_2):** es el elemento que está más presente en el aire atmosférico, en torno a un 78 %. Es un gas incoloro, inodoro, insípido, no combustible e inocuo. La mayor parte del nitrógeno admitido por el motor sale sin alterarse en los gases de escape, pero una pequeña parte se combina con el oxígeno, bajo ciertas circunstancias, formando óxidos de nitrógeno.
- **Oxígeno (O_2):** forma parte del aire atmosférico en un 21 % aproximadamente. Es un gas incoloro, inodoro e insípido, siendo necesario para la respiración. Su presencia en los gases de escape es debida principalmente al funcionamiento con mezclas pobres, constituyendo un sobrante de la combustión.

Recuerda que...

El aire atmosférico se compone aproximadamente de un 78 % de nitrógeno, un 21 % de oxígeno y de un 1 % de otros gases.

- **Agua (H_2O):** está presente en el aire atmosférico en forma de vapor y se condensa en la línea de escape cuando está aún fría y el motor en la fase de calentamiento. Es una sustancia inocua.
- **Dióxido de carbono (CO_2):** es un producto resultante de la combustión de un hidrocarburo, ya que el carbono del combustible se combina con el oxígeno del aire

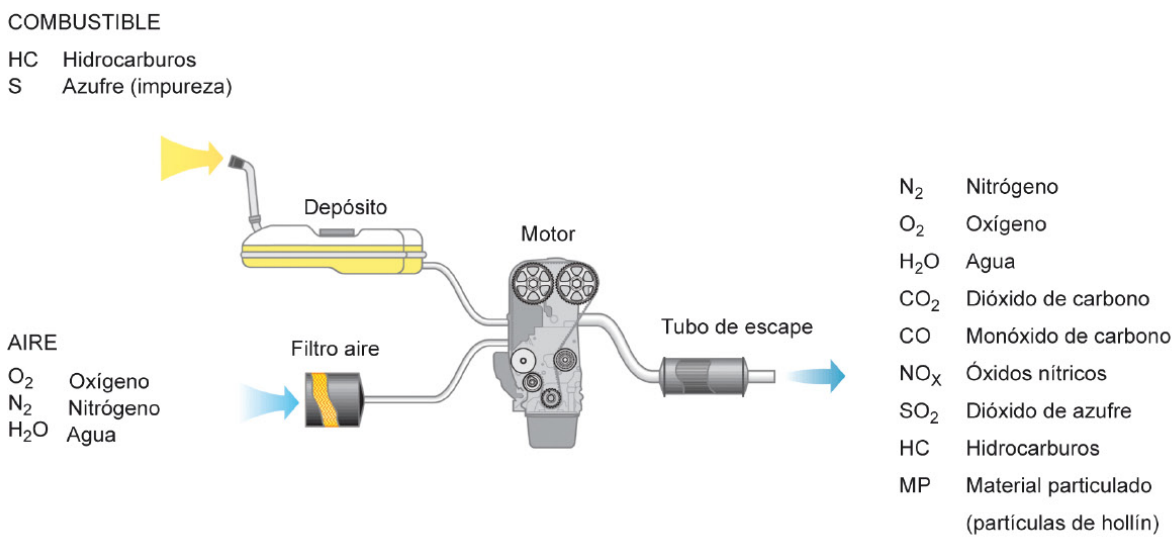


Figura 13.2. *Reacción de combustión real y posibles productos contaminantes.*

© Ediciones Paraninfo

aspirado. Aunque no es un gas tóxico para el ser humano, contribuye al efecto invernadero, por lo que es un gas contaminante.

El dióxido de carbono es un producto que se obtiene tras la combustión de un hidrocarburo, en la reacción completa o ideal. Esto quiere decir que es un gas que no puede ser tratado. Por este motivo, la única forma de minimizar sus efectos es reduciendo el consumo de combustible. Al consumir menos combustible, disminuirá la emisión de dióxido de carbono.

- **Monóxido de carbono (CO):** se obtiene tras la combustión incompleta de un hidrocarburo. Es un gas incoloro, inodoro y altamente tóxico, pudiendo resultar letal, incluso con una reducida presencia en el ambiente. Aproximadamente, una proporción del 0,4 % en el aire puede resultar mortal en una hora. Sustituye al oxígeno en la hemoglobina de la sangre, formando la carboxihemoglobina, que dificulta la transferencia de oxígeno a los tejidos.
- **Óxidos de nitrógeno (NO_X):** resultan tras la combinación del nitrógeno y el oxígeno bajo ciertas condiciones, como una elevada presión y temperatura, así como un exceso de oxígeno tras la combustión. Estas condiciones se reproducen en la cámara de combustión con cargas muy elevadas o en motores de inyección directa, tanto de gasolina funcionando en modo estratificado, como diésel, donde la presión es muy alta y la temperatura puede superar los 1500 °C, además de trabajar con exceso de aire. Se denota como NO_X por ser un gas muy inestable que pasa rápidamente de NO a NO_2. Irrita los órganos respiratorios y puede destruir el tejido pulmonar. Además, contribuye al *smog* fotoquímico. El NO_2, en presencia de luz y de agua puede formar HNO_3 (ácido nítrico), siendo un compuesto responsable de la lluvia ácida.

Sabías que...

El *smog* fotoquímico (del inglés *smoke*-humo y *fog*-niebla) es la contaminación del aire, que se produce principalmente en grandes ciudades, observándose una atmósfera de color gris o negro, que puede provocar determinados problemas respiratorios.

- **Dióxido de azufre (SO_2):** suele producirse por la combinación del azufre, presente como impureza del combustible, con el oxígeno del aire. Es un gas incoloro y de olor penetrante. Puede causar determinadas enfermedades de las vías respiratorias, además de contribuir a la niebla contaminante y a la lluvia ácida. Su presencia en los gases de escape se ha ido reduciendo al disminuir el contenido en azufre de los combustibles.

Otro elemento altamente tóxico es el plomo (Pb). Además de su toxicidad, su uso es incompatible con los catalizadores de los gases de escape porque los deja inactivos. Actualmente ya no está presente en los gases de escape porque se ha eliminado de las gasolinas. Hace algunos años se empleaba para disminuir la combustión detonante, además de quedar adherido a los asientos de las válvulas, aumentando la vida útil de estas piezas por amortiguar el golpeteo del cierre de las válvulas. Actualmente se emplean otros aditivos antidetonantes que son compatibles con el uso de los catalizadores.

- **Hidrocarburos sin quemar (HC):** son componentes no quemados del combustible, originados por una combustión incompleta. Pueden encontrarse formando diferentes compuestos que afectan de formas muy diversas al organismo. Algunos compuestos aromáticos, como el benceno, son cancerígenos.
- **Material particulado (MP):** también conocido como PM, del inglés *particulate matter*. Son partículas de hollín, producidas principalmente en motores diésel. Determinados tamaños de partículas pueden afectar al sistema respiratorio.

Los productos resultantes de la combustión se pueden dividir en:

- Sustancias inocuas: N_2, O_2 y H_2O.
- Sustancias inocuas pero que contribuyen al efecto invernadero: CO_2.
- Sustancias tóxicas: CO, NO_X, SO_2, Pb, HC y MP.

La composición aproximada de los gases de escape para motores de gasolina y diésel está representada en la Figura 13.3.

Según lo anterior, las emisiones de gases tóxicos son muy reducidas. Aun así, los sistemas anticontaminación tienen como objetivo su tratamiento para minimizarlas o convertirlas en otras sustancias inocuas.

13.2. Evolución de la normativa anticontaminación

En Europa, la contaminación producida por los vehículos automóviles empezó a ser regulada a partir de 1970. Posteriormente, surgieron las diferentes normas EURO que regulan las cantidades máximas admisibles, en gramos por kilómetro, que pueden emitir los vehículos. La Figura 13.4 muestra la evolución de las normas EURO para motores de gasolina, motores diésel y vehículos de dos ruedas.

© Ediciones Paraninfo

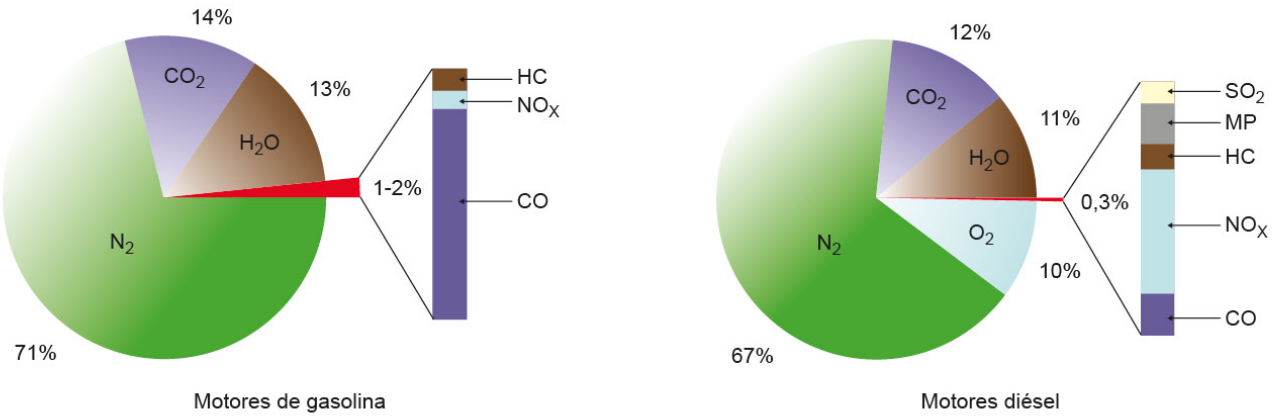


Figura 13.3. *Representación de la composición aproximada de los gases de escape en motores de gasolina y diésel.*

VALORES LÍMITE DE EMISIONES CONTAMINANTES PARA MOTORES DE GASOLINA (g/km)						
NORMA	VÁLIDA DESDE	CO	HC	NO_X	HC + NO_X	MP
EURO I	12/1992	2,72	-	-	0,97	-
EURO II	1/1997	2,20	-	-	0,50	-
EURO III	1/2000	2,30	0,20	0,15	-	-
EURO IV	1/2005	1,00	0,10	0,08	-	-
EURO V	9/2009	1,00	0,10	0,06	-	0,005*
EURO VI	8/2014	1,00	0,10	0,06	-	0,005*

* Solo motores de inyección directa

VALORES LÍMITE DE EMISIONES CONTAMINANTES PARA MOTORES DIÉSEL (g/km)						
NORMA	VÁLIDA DESDE	CO	HC	NO_X	HC + NO_X	MP
EURO I	1/1992	2,72	-	-	0,97	0,140
EURO II	1/1996	1,00	0,15	0,55	0,70	0,080
EURO III	1/2000	0,64	0,06	0,50	0,56	0,050
EURO IV	1/2005	0,50	0,05	0,25	0,30	0,025
EURO V	9/2009	0,50	0,05	0,18	0,23	0,005
EURO VI	8/2014	0,50	0,09	0,08	0,17	0,005

VALORES LÍMITE DE EMISIONES CONTAMINANTES PARA VEHÍCULOS DE DOS RUEDAS (g/km)				
NORMA	VÁLIDA DESDE	CO	HC	NO_X
EURO I	6/1999	13,00	3,00	0,30
EURO II	4/2003	5,50	1,00	0,30
EURO III	1/2007	2,00	0,30	0,15

Figura 13.4. *Evolución de las normas EURO.*

© Ediciones Paraninfo

Uno de los gases contaminantes, el CO_2, no está reflejado en las normas EURO. Por este motivo surge la propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de diciembre de 2007, por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos como parte del enfoque integrado de la Comunidad para reducir las emisiones de CO_2 de los vehículos ligeros. Esta propuesta fija un límite medio de emisión de CO_2 aplicable a los fabricantes de automóviles, a fin de alcanzar en el año 2012 el objetivo de 130 gramos de CO_2 por kilómetro para los vehículos nuevos matriculados en la Unión Europea.

El valor límite de emisión de CO_2 no se aplica a cada vehículo de forma individual, sino a la media de todos los vehículos fabricados por un fabricante registrado en la UE durante un año.

A partir de 2012, los fabricantes que no respeten su objetivo deberán pagar una «prima por exceso de emisiones». Esta prima se calcula según lo siguiente:

- El número de gramos por kilómetro en que un fabricante sobrepase su objetivo por las emisiones medias de este fabricante.
- El número de turismos nuevos fabricados por este fabricante y matriculados durante el año.
- Una prima que ascenderá según el año en cuestión (20 euros en 2012, 35 euros en 2013, 60 euros en 2014 y 95 euros en 2015 y cada uno de los años siguientes).

Actualmente, en muchos países, determinados impuestos como el de matriculación y el de circulación están vinculados a la emisión de CO_2 en g/km del vehículo.

Para poder asegurar que los vehículos fabricados cumplen con la normativa anticontaminación, deben homologarse midiendo sus emisiones. Estas mediciones se hacen en un banco de ensayos de rodillos, con un sistema de medición aprobado por la administración competente. Los ensayos de homologación deben realizarse antes de que un vehículo salga al mercado. En el banco se simulan unos ciclos de conducción estándar normalizados, quedando registrados los datos a través de los instrumentos de medición. El procedimiento de medición, representado en la Figura 13.5, es el siguiente:

- Mientras se está simulando el ciclo de conducción, los gases de escape son aspirados por la turbina principal, junto con el aire exterior filtrado. Así, se forma un caudal de masa de aire uniforme, aspirando de forma continua la misma cantidad de mezcla de aire con gases de escape. Si el vehículo aumenta la cantidad de gases de escape expulsados, como en una aceleración, el sistema aspira menos aire exterior. Si el vehículo disminuye la cantidad de gases de escape, como en una deceleración, ocurre lo contrario.
- Continuamente se extrae una parte de la mezcla de aire con gases de escape, pasando a través de una o varias bolsas colectoras.

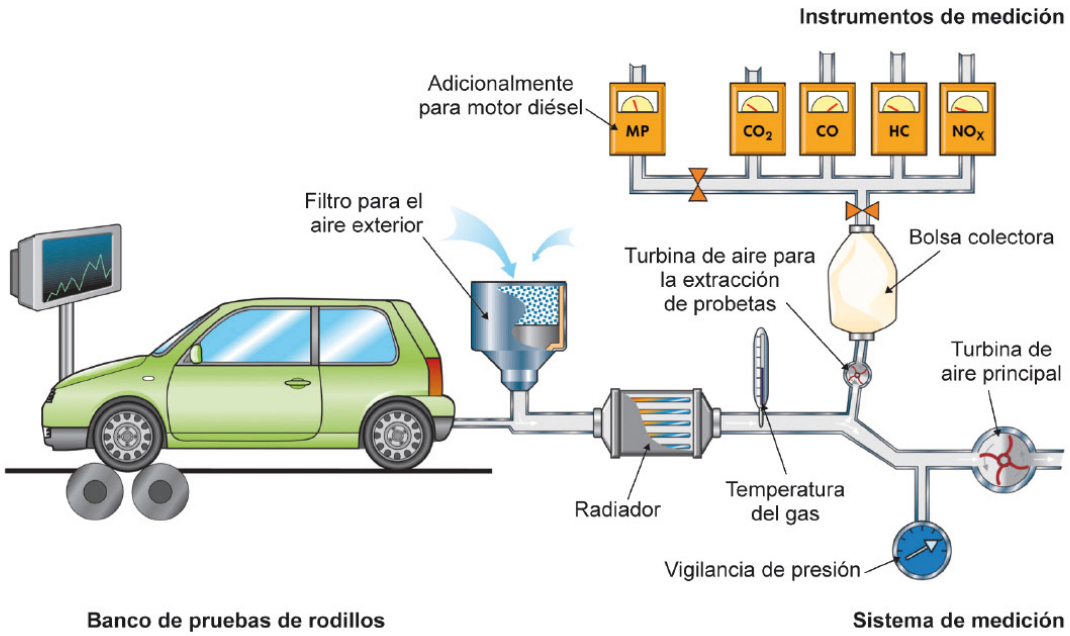


Figura 13.5. *Representación esquemática de un banco de rodillos para la homologación de un vehículo en lo referente a emisiones contaminantes.*

© Ediciones Paraninfo

- Por último se miden los gases de escape recolectados y se expresan en g/km, referidos al recorrido total. Un ejemplo de recorrido es el que muestra la Figura 13.6, donde se representa la velocidad de circulación del vehículo en función del tiempo, según la norma EURO III. El recorrido o ciclo consiste en una simulación de circulación en el ámbito urbano y extraurbano.

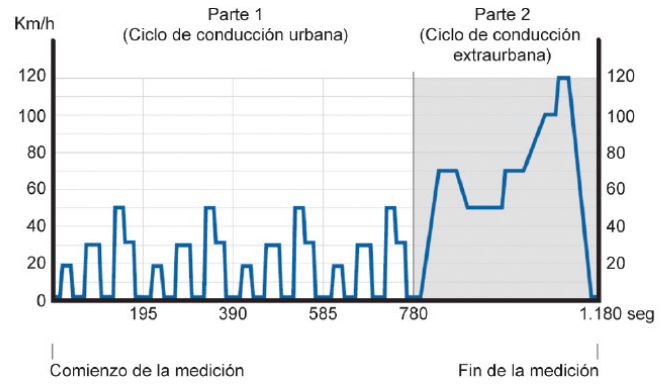


Figura 13.6. *Representación gráfica del recorrido o ciclo para la homologación del vehículo con respecto a las emisiones contaminantes, según la norma EURO III.*

13.3. Evolución de los vehículos y de los motores térmicos para reducir las emisiones contaminantes

Para poder reducir las emisiones contaminantes es necesario actuar sobre el vehículo y sobre el motor, basándose en tres aspectos principales, que son los siguientes:

- **Reducción del consumo:** a través de:
  - Una mejor aerodinámica de la carrocería.
  - Una disminución del peso del vehículo.
  - Una optimización del funcionamiento del motor y de la transmisión, así como de sus sistemas de gestión.
- **Tratamiento de las emisiones contaminantes:** sobre todo:
  - Vapores de aceite.
  - Vapores de gasolina.
  - Gases de escape.

Hay otros aspectos del diseño del motor que pueden ayudar a reducir las emisiones contaminantes. La siguiente tabla reúne algunos dispositivos o elementos del motor y las emisiones contaminantes sobre las que influyen.

Dispositivo o elemento	Contaminante en el que influye
Control de la mezcla	CO HC NO_x
Corte de combustible en deceleración	HC
Sistema de encendido	HC NO_x
Diseño de la cámara de combustión	HC NO_x
Relación de compresión	HC NO_x
Sistema de distribución	HC NO_x

La Figura 13.7 representa la composición aproximada de gases contaminantes de un vehículo de gasolina, presentes en los vapores de aceite, los vapores de gasolina y los gases de escape.

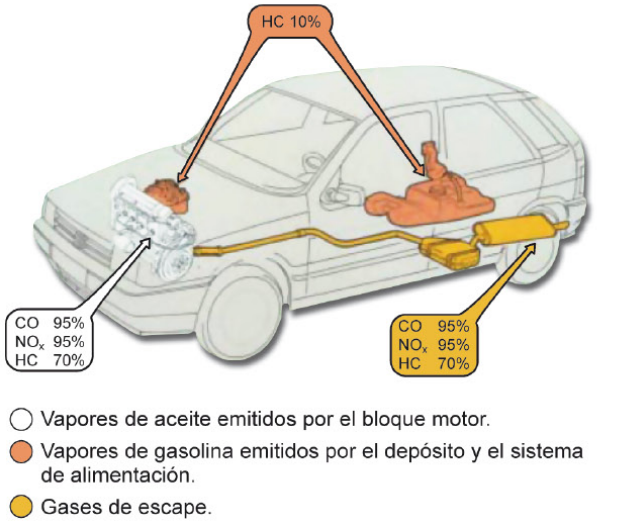


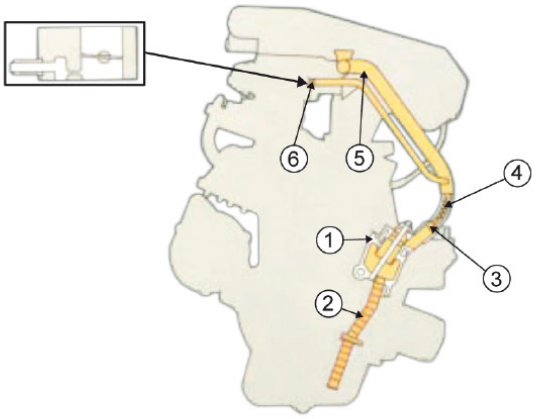
Figura 13.7. *Composición aproximada de gases contaminantes de un vehículo de gasolina, presentes en los vapores de aceite, los vapores de gasolina y los gases de escape.*

- **Monitorización del funcionamiento del motor:** a través de un sistema estandarizado y universal. El diagnóstico de a bordo, también conocido como OBD (*on board diagnosis*), se implantó por primera vez en California en 1988. En Europa existe una variante de este sistema llamado EOBD (*euro on board diagnosis*) y desde el año 2000 es obligatorio para la homologación de vehículos de nueva adquisición.

© Ediciones Paraninfo

13.4. El reciclado de los vapores de aceite

Los vapores de aceite se generan principalmente por el efecto blow-by, que consiste en que parte de los gases resultantes de la combustión se fugan a través de los segmentos y de las guías de válvula hacia el cárter y la culata, respectivamente. Esto provoca un aumento de la presión en el interior del motor que, de no ser aliviada, podría dañar juntas y retenes. Los vapores de aceite contienen sobre todo hidrocarburos sin quemar que no pueden verterse a la atmósfera. Para ello se instala el sistema de ventilación positiva del cárter o sistema PCV, como muestra la Figura 13.8. Este sistema se encarga de introducir en el conducto de admisión los vapores de aceite para que sean quemados y transformarlos en CO_2 y H_2O. Además, se interpone un decantador que permite que la fase líquida de estos vapores pueda retornar al cárter, mientras que la fase gaseosa continúa hacia la entrada a los cilindros.



1. Decantador.
2. Tubería de retorno al cárter.
3. Tubería de salida de vapores hacia el filtro de aire.
4. Apagallamas de seguridad.
5. Tubo de aspiración de los vapores de aceite por depresión.
6. Orificio calibrado de aspiración de vapores de aceite.

Figura 13.8. *Sistema de ventilación positiva del cárter.*

A continuación se explica un sistema de reciclado de los vapores de aceite instalado en un motor diésel moderno, que contiene un separador escalonado de partículas de aceite en la tapa de balancines. De esta forma se consigue lo siguiente:

- Recuperar la mayor parte del aceite contenido en los vapores.
- Reducir la emisión de hidrocarburos sin quemar.
- Disminuir la formación de cenizas, que afectan gravemente a los filtros antipartículas que montan algunos motores diésel.

Los componentes y funcionamiento de este dispositivo se explican a través de la Figura 13.9. La separación se produce en tres etapas:

- **Separación gruesa:** se produce en la cámara de estabilización de la tapa de balancines. Los vapores del cárter la atraviesan, condensándose en sus paredes las gotas de aceite de mayor tamaño, que caen al fondo de la tapa y descienden por medio de unos orificios a la culata.
- **Separación fina:** esta fase tiene lugar en un separador ciclónico dentro de la cámara de estabilización. Dependiendo de la diferencia de presiones entre el colector de admisión y el cárter entran en funcionamiento dos o cuatro ciclones. Dos de ellos funcionan constantemente y los otros dos solo cuando hay mucha diferencia de presión. Los ciclones fuerzan a que los vapores sigan una trayectoria circular para que las gotas se adhieran a las paredes y de ahí escurran hacia la cámara colectora.
- **Amortiguación:** tras salir del separador ciclónico, los vapores entran en una cámara de amortiguación que reduce su energía cinética, evitando turbulencias en el colector de admisión. En el fondo de la cámara hay un orificio para recuperar el aceite decantado en esta parte.

Una válvula de membrana regula el paso de vapores de aceite hacia el colector de admisión, que se produce por la depresión generada en el mismo.

13.5. El reciclado de los vapores de gasolina

En los vehículos de gasolina, el combustible contenido en el depósito y en los conductos de alimentación tiende a evaporarse fácilmente. Estos vapores de gasolina están formados por hidrocarburos que no pueden verterse a la atmósfera por ser contaminantes. Para evitar esto, son introducidos en la admisión para que sean quemados y expulsados por el escape en forma de CO_2 y H_2O. Este proceso se realiza a través de un filtro de carbón activo conocido como cánister. El cánister retiene los vapores de gasolina y, dado que tras un cierto tiempo llega a saturarse, se regenera mientras el motor esté en marcha. Así, se arrastran los vapores de gasolina hacia el interior de los cilindros a través de una válvula obturadora o de purga bajo ciertas condiciones, ya que de lo contrario la mezcla podría enriquecerse en exceso.

© Ediciones Paraninfo

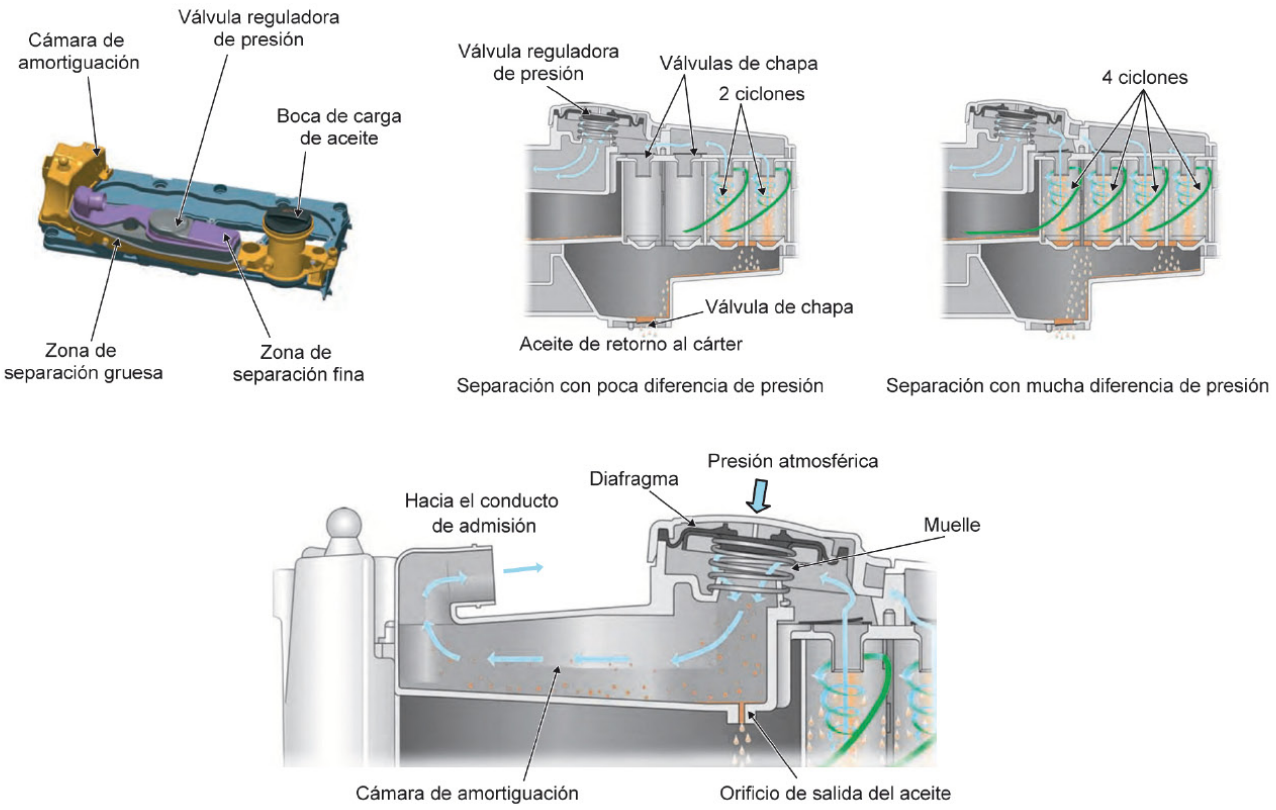


Figura 13.9. *Componentes y funcionamiento del sistema de reciclado de los vapores de aceite con separador escalonado en la tapa de balancines.*

Esta válvula puede ser neumática o una electroválvula. En el caso de motores sobrealimentados, la válvula de purga se abre solo cuando la presión en el colector de admisión es inferior a la atmosférica, es decir, mientras no se produzca presión de soplado. La Figura 13.10 muestra diferentes filtros de carbón activo y un ejemplo de válvula de purga.

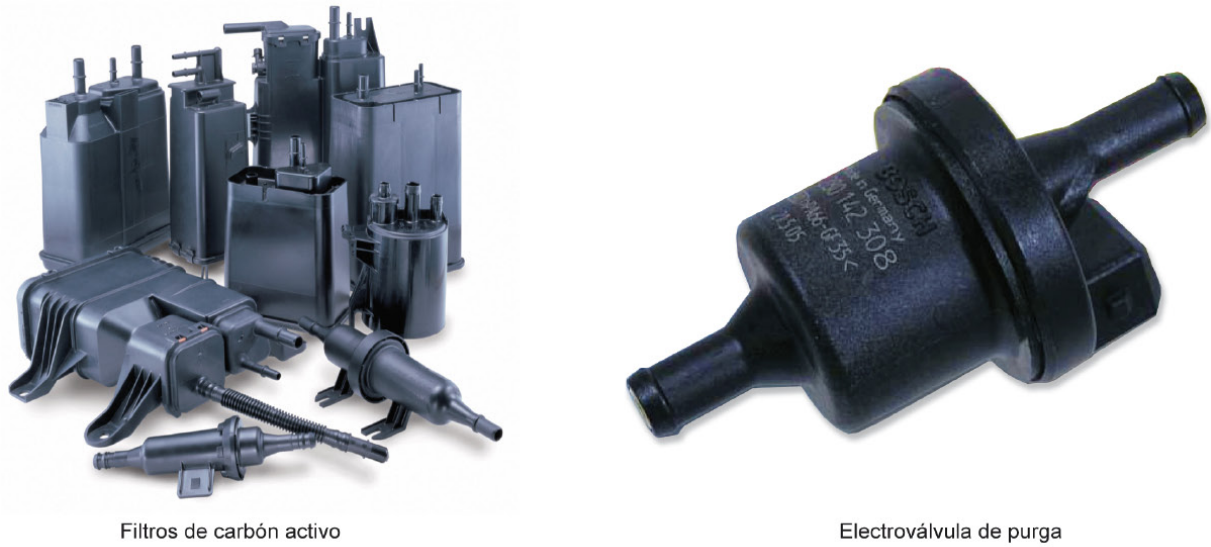


Figura 13.10. *Diferentes filtros de carbón activo y un ejemplo de válvula de purga.*

© Ediciones Paraninfo

El filtro de carbón activo es un componente que, en principio, no requiere mantenimiento. Los gránulos de carbón activo pueden sufrir alteraciones si al filtro llega gasolina en estado líquido en lugar de gasolina en estado de vapor.

El funcionamiento del dispositivo de reciclaje de los vapores de gasolina se explica por medio de la Figura 13.11, distinguiéndose dos casos:

- **Funcionamiento con válvula neumática:**
  - Con el motor parado, los gases del depósito de combustible llegan al filtro de carbón activo, donde son absorbidos.
  - Con el motor al ralentí, la válvula de corte está cerrada y los vapores no pueden pasar desde el filtro de carbón activo al colector de admisión.
  - Bajo carga, la válvula de corte se abre y los vapores de gasolina pasan al colector de admisión después de la mariposa de gases.

En este sistema, la válvula limitadora de presión evita sobrepresiones en el depósito de combustible dejando pasar el sobrante a un depósito de expansión. Por otro lado, la válvula antivuelco protege al sistema en caso de accidente.

- **Funcionamiento con electroválvula:** la unidad de control activa la electroválvula con una señal de mando de tipo PWM. En función de la anchura del pulso se puede controlar su apertura y el paso de vapores hacia el colector de admisión. Para producir el reciclado de los vapores de gasolina es necesario que la temperatura del líquido refrigerante y del aire aspirado alcancen un determinado valor, y que el motor no esté ni al ralentí ni en fase de deceleración. En algunos casos, la electroválvula de purga va integrada en el filtro de carbón activo, formando un conjunto inseparable.

En el tapón de llenado del depósito de combustible se instala una válvula de sobrepresión que se abre cuando los vapores de gasolina superan una cierta presión dentro del depósito, que no puede ser absorbida por el cánister.

Una avería en el sistema de reciclado de vapores de gasolina puede provocar un ralentí inestable o incluso el calado del motor. Aunque se pueden encontrar diferentes configuraciones, las comprobaciones que se pueden hacer sobre este sistema son las siguientes:

- Estado de las canalizaciones.
- Válvulas de sobrepresión y aireación del cánister. Para ello se desconecta el conducto que comunica el cánister con el depósito de combustible. Aplicando presión con una bomba manual debe observarse que sale aire por la válvula de sobrepresión, lo que indica que funciona correctamente. De la misma forma, en vez de una bomba manual se instala un vacuómetro y se aplica vacío, debiéndose observar que entra aire por la válvula de aireación.
- Electroválvula de purga. Lo primero que hay que verificar es la resistencia del solenoide, desacoplando la conexión de la electroválvula. Posteriormente, y preferiblemente con un osciloscopio, se observará la excitación por parte de la unidad de control, a través de una señal de frecuencia fija y anchura de pulso variable.

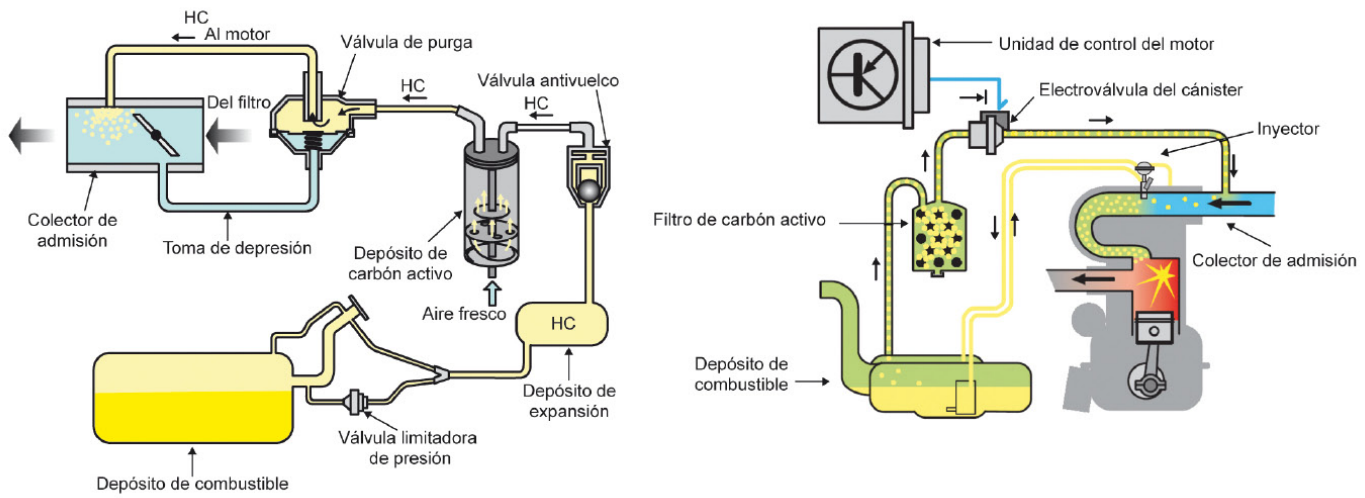


Figura 13.11. *Sistema de reciclado de los vapores de gasolina, con válvula neumática (izquierda) y con electroválvula (derecha).*

© Ediciones Paraninfo

13.6. La inyección de aire en el escape

La inyección de aire en el escape es un sistema de recombustión térmica que consiste en que los gases de escape son quemados de nuevo tras la combustión. Esto es posible porque los gases de escape salen del motor a muy alta temperatura y los hidrocarburos no quemados pueden entrar en combustión si se les aporta una cierta cantidad de oxígeno. De esta forma, parte de los HC se transforman en CO_2 y H_2O y, a su vez, el CO puede oxidarse a CO_2.

Recuerda que...

Existen dos formas básicas de tratar los gases de escape:

- Recombustión térmica: realizando una postcombustión de los mismos en el escape.
- Recombustión catalítica: terminando o acelerando las reacciones de oxidación y reducción en un catalizador.

Dado que los motores diésel trabajan con exceso de aire, este sistema es exclusivo de los motores de gasolina.

Sabías que...

El sistema de inyección de aire en el escape también se conoce como sistema de aire secundario.

Existen dos sistemas principales, que son mediante bomba o con una válvula denominada pulsair.

- **Sistema con bomba de aire:** en la mayoría de vehículos que lo montan solo se activa por tiempo limitado y en dos estados operativos:
  - En el arranque en frío, con una temperatura del líquido refrigerante de entre 5 y 30 °C, durante unos 100 segundos. Cuando el motor está frío, la mezcla es más rica y los gases de escape tienen una mayor concentración de HC sin quemar. Con la inyección de aire en el escape se mejora la oxidación posterior en el catalizador y, el calor desprendido, ayuda a que este alcance rápidamente su temperatura de funcionamiento.
  - Al ralentí tras el arranque en caliente, con una temperatura del líquido refrigerante de unos 95 °C, durante unos 10 segundos, para realizar una función de autodiagnóstico.

En el sistema con bomba de aire, una bomba generalmente de paletas es accionada por el motor o de forma eléctrica, aspirando aire de admisión después del filtro e introduciéndolo en el colector de escape, normalmente a través de tantos inyectores como cilindros tenga el motor. El funcionamiento de este sistema se explica basándose en la Figura 13.12.

La unidad de control toma como parámetros de entrada la temperatura del líquido refrigerante y el valor obtenido de la sonda lambda. Por otro lado, puede activar el relé de alimentación de la bomba y excitar la electroválvula del sistema, a través de la cual se controla la válvula combinada, por medio de la depresión reinante en el colector de admisión. El paso de aire hacia el colector de escape depende de la posición que adopte la válvula combinada, que consta de una membrana que se desplaza en función de la depresión existente en el colector de admisión. Al aumentar la depresión, la válvula se abre y permite el paso de aire hacia el colector de escape. En estado no activado, los gases de escape se aplican sobre la válvula combinada, cerrando esta su paso hacia la bomba de aire secundario.

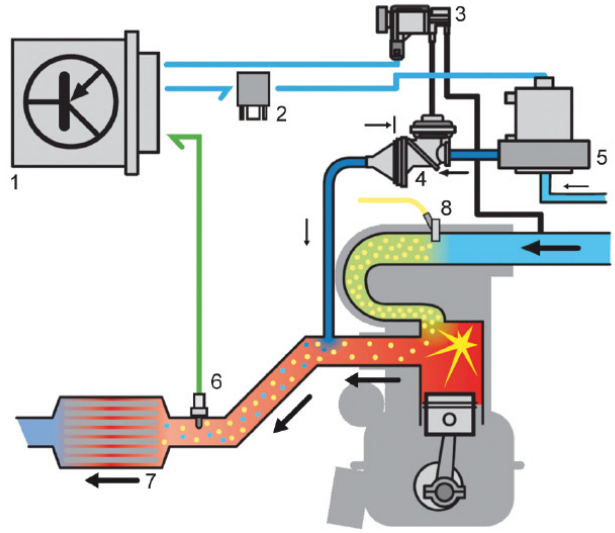
Este sistema se diagnostica comprobando el funcionamiento del relé de la bomba, la bomba, la electroválvula y la válvula combinada, así como todas las conexiones, tanto eléctricas como neumáticas. La señal de mando de la unidad de control hacia la electroválvula suele ser de tipo PWM.

- **Sistema con válvula *pulsair:*** este sistema no tiene una bomba de aire, sino que una válvula de membrana se encarga de permitir o impedir el paso de aire hacia el colector de escape.

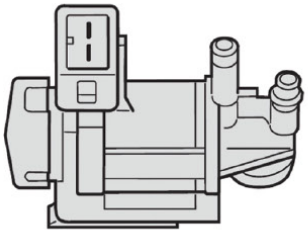
En la Figura 13.13 se muestra un ejemplo de este sistema. El filtro de aire tiene una toma adicional que suministra aire al sistema *pulsair*. Una válvula de vacío permite el paso de aire al sistema *pulsair* en función de la depresión existente en el colector de admisión. El dispositivo introduce el aire en el colector de escape, a la salida de cada cilindro. En el interior de la carcasa se disponen unas láminas metálicas que funcionan como una válvula antirretorno de los gases de escape. El sistema *pulsair* aprovecha el vacío que se produce en el colector de escape durante determinadas fases del ciclo térmico del motor. Las láminas de metal flexible permiten la introducción de aire fresco en el escape durante las fases de depresión e impiden que retornen gases de escape en las fases en las que existe presión. Cuando una válvula de escape abre, los gases de escape generan una cierta presión en el colector y no entra aire en él. Cuando una válvula de escape cierra, se genera un vacío en el colector que provoca la aspiración de aire.

Muchos sistemas *pulsair* incorporan una electroválvula gobernada por la unidad de control para regular la depresión que le llega a la válvula de vacío.

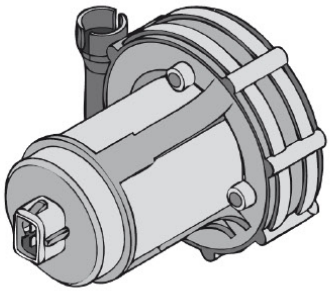
© Ediciones Paraninfo



1. Unidad de control del motor.
2. Relé de la bomba de aire secundario.
3. Electroválvula del sistema de aire secundario.
4. Válvula combinada.
5. Bomba de aire secundario.
6. Sonda lambda.
7. Catalizador.
8. Inyector.



Electroválvula del sistema de aire secundario

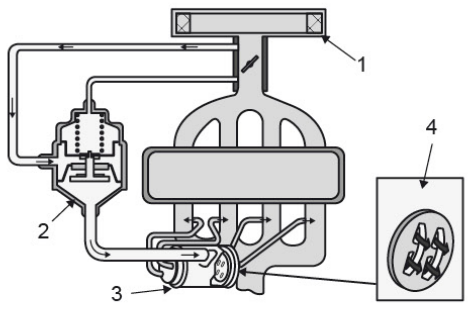


Bomba de aire secundario

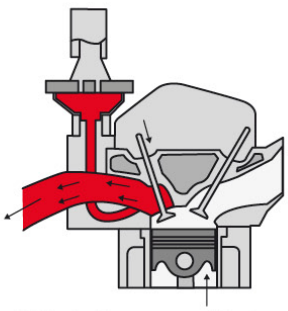
Figura 13.12. *Sistema de inyección de aire en el escape mediante bomba.*

Las comprobaciones sobre el sistema *pulsair* se dividen en neumáticas y eléctricas. El circuito neumático se puede comprobar desconectando el tubo de vacío de la válvula y conectando un vacuómetro. Con el motor arrancado, al aplicar depresión debe observarse que la válvula abre. Las comprobaciones eléctricas se realizan si el sistema incorpora una electroválvula de control del vacío. Para ello se verifica la electroválvula, midiendo el valor de la resistencia del bobinado y su tensión de alimentación.

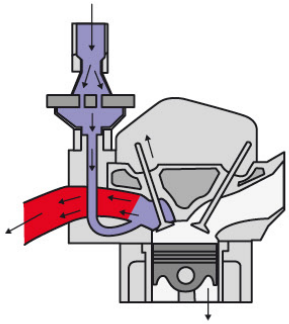
Existen otros dispositivos que en vez de aportar aire en el escape, lo hacen en el colector de admisión. Suele ser una válvula accionada por vacío o también llamada en algunos casos válvula AB, como la que aparece en la Figura 13.14. Durante la fase de desaceleración, la mezcla se vuelve excesivamente rica, aumentando las emisiones de HC sin quemar, además de poder provocar detonaciones. La válvula de vacío, a partir de un cierto valor de depresión en el colector de admisión, comunica el filtro de aire con el colector de admisión, realizando un by-pass de aire sobre la mariposa de gases. Este aire extra introducido en el colector de admisión empobrece la mezcla, evitando la detonación y disminuyendo las emisiones contaminantes.



1. Filtro de aire.
2. Válvula de vacío.
3. Carcasa del sistema pulsair.
4. Láminas de metal flexible.



Válvula de escape abierta. La presión en el colector hace que las láminas estén cerradas.



Válvula de escape cerrada. La depresión en el colector hace que las láminas se abran y se introduzca aire en el escape.

Figura 13.13. *Sistema de inyección de aire en el escape con válvula pulsair.*

© Ediciones Paraninfo

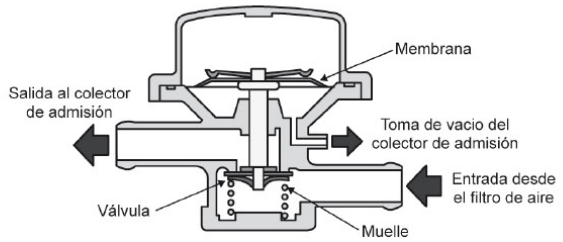


Figura 13.14. *Válvula de vacío o válvula AB para la aportación de aire en el colector de admisión.*

13.7. Los catalizadores y las sondas lambda

Un catalizador es una sustancia que no se altera en una reacción química pero que la termina o aumenta su velocidad de transformación. Las sustancias catalizadoras para tratar los gases de escape son tres, el paladio (Pd), el platino (Pt) y el rodio (Rh). Las sustancias contaminantes, mediante un proceso de oxidación o de reducción y en presencia del catalizador correspondiente, se transforman en sustancias inocuas, como se indica a continuación.

- **Hidrocarburos sin quemar (HC):** se oxidan en presencia del paladio para formar CO_2 y H_2O. Es necesario que el motor trabaje con exceso de oxígeno o mezclas pobres.
- **Monóxido de carbono (CO):** se oxida en presencia de platino para formar CO_2. Al ser un proceso de oxidación, también es necesario que el motor funcione con mezcla pobre.
- **Óxidos de nitrógeno (NO_X):** se reducen en presencia de rodio, separando el nitrógeno y el oxígeno. El nitrógeno forma N_2 y el oxígeno se recombina con el carbono dando CO_2.

Recuerda que...

Para que la sustancia catalizadora realice su función es necesario que haya alcanzado una temperatura determinada.

Recuerda que...

La oxidación consiste en que un elemento gane átomos de oxígeno y la reducción en que los pierda.

Aunque el elemento que trata las sustancias contaminantes del escape se conoce como catalizador, es más correcto denominarlo convertidor catalítico, ya que el catalizador como tal, es la sustancia que ayuda a terminar o acelerar la reacción, ya sea el paladio, el platino o el rodio.

Los convertidores catalíticos de automoción se distinguen según el número de vías, entendiendo que cada vía es una sustancia contaminante a tratar. Como puede verse en la Figura 13.15, los catalizadores se clasifican de la siguiente forma:

- **De dos vías:** también llamados catalizadores de oxidación, ya que tratan los HC y el CO oxidándolos. Para que este catalizador funcione, es necesario que el motor trabaje con mezclas pobres. Por este motivo se emplea en motores diésel y se ha empleado en algunos motores de gasolina siendo necesaria la instalación de un sistema de aportación de aire en el escape para introducir una cantidad mayor de oxígeno que posibilite la reacción de oxidación.

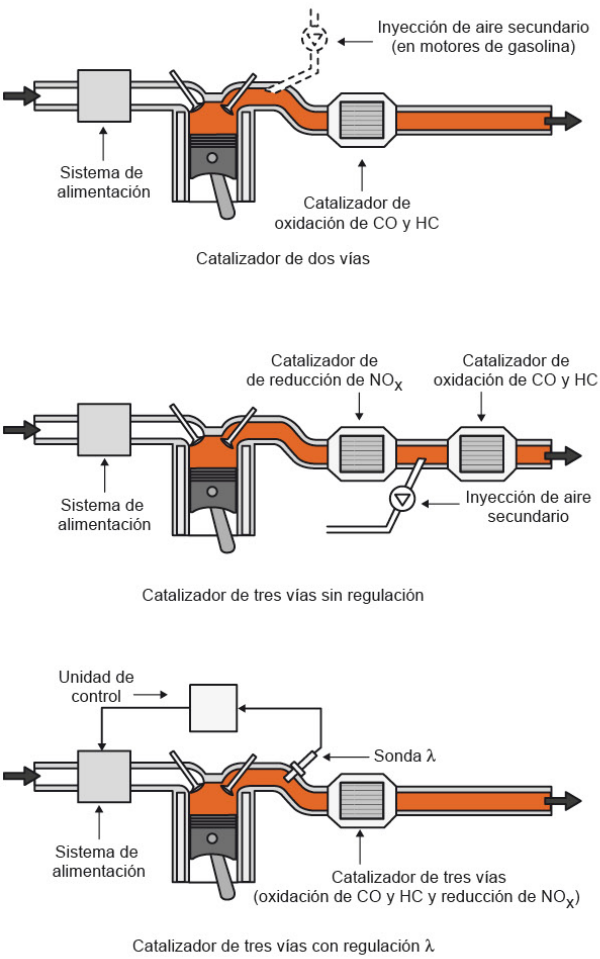


Figura 13.15. *Clasificación de los catalizadores.*

© Ediciones Paraninfo

- **De tres vías sin regulación:** este tipo de catalizador es capaz de tratar los HC, el CO y los NO_X. Se utilizó en algunos motores de gasolina que no regulaban la relación estequiométrica de la mezcla. Por este motivo se denominan sin regulación o de bucle abierto. El catalizador se compone de dos monolitos o de un doble lecho. El primer monolito se encarga de reducir los NO_X, por lo que va situado a la salida del colector de escape, ya que hay defecto de oxígeno. El segundo monolito se monta después y, para que pueda oxidar los HC y el CO, es necesario un sistema de aportación de aire secundario a su entrada que le proporcione oxígeno.
- **De tres vías con regulación λ:** es el catalizador más usado en vehículos de gasolina. Se encarga de transformar las tres sustancias contaminantes principales (HC, CO y NO_X) en un único elemento. Como es sabido, para las reacciones de oxidación es necesario emplear mezclas pobres y para las de reducción mezclas ricas. Para optimizar todas las reacciones, el motor ha de trabajar con mezcla estequiométrica o valor de $\lambda = 1$. Esto se consigue con un sensor de oxígeno o sonda lambda, ubicada antes del catalizador. Este dispositivo detecta la proporción de oxígeno presente en los gases de escape y, en función de este parámetro, la unidad de control ajusta la proporción de la mezcla. De esta forma, se tiene un sistema de regulación con lazo de realimentación gobernado por la unidad de control.

La estructura del catalizador se explica a través de la Figura 13.16. Los elementos principales son:

- **Carcasa metálica:** es de acero inoxidable y se divide en dos partes que se unen mediante soldadura. Alberga el monolito o sustrato sobre el que se depositan las sustancias catalizadoras.
- **Protector térmico:** instalado sobre la carcasa, ya que el catalizador alcanza una elevada temperatura. Evita que se caliente en exceso el suelo del habitáculo y reduce el riesgo de incendio si el vehículo se deja aparcado sobre pasto seco.
- **Manta térmica expansible:** los monolitos se fijan a la carcasa interponiendo una manta expansible, que

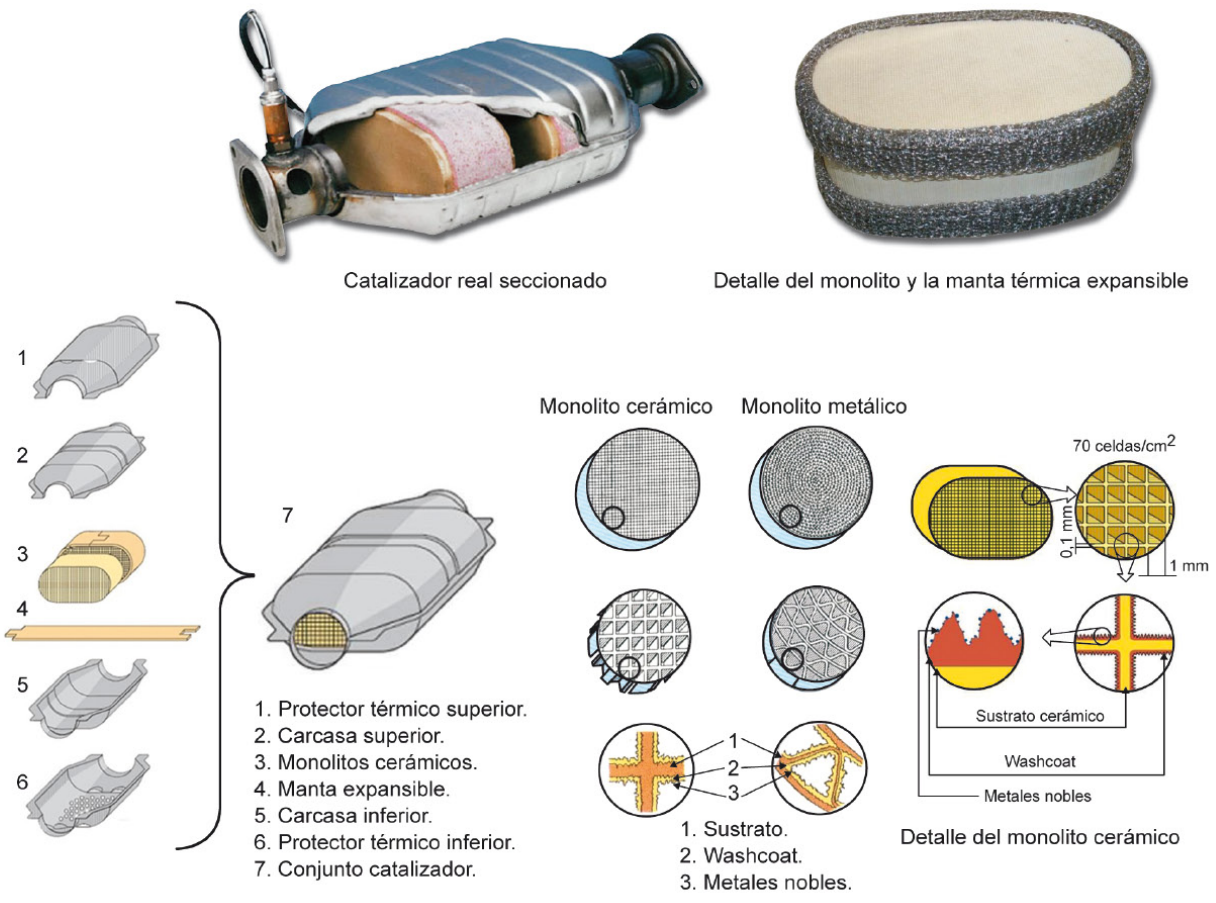


Figura 13.16. *Estructura de un catalizador.*

© Ediciones Paraninfo

normalmente está formada por fibras metálicas. La función de este elemento es la de absorber las dilataciones que sufren el monolito y la carcasa, ya que el coeficiente de dilatación térmica de ambos elementos es diferente y en determinadas circunstancias el monolito podría moverse. Por otro lado, aísla térmicamente el catalizador para que mantenga su temperatura de funcionamiento.

- **Monolito:** el monolito forma el sustrato sobre el que se depositan los metales nobles que actúan como sustancias catalizadoras. Suelen ser cerámicos aunque en catalizadores pequeños pueden ser metálicos. Su sección transversal forma un gran número de celdas de pequeño tamaño que a lo largo del monolito forman canalizaciones por las que pasan los gases de escape. La densidad de las celdas en la sección transversal suele ser de unas 70 por cada centímetro cuadrado. El tamaño del monolito depende del tipo de motor. Esta configuración forma un gran número de galerías de pequeña sección aumenta la superficie de contacto de los gases de escape con los metales nobles. A modo de referencia, la superficie total de contacto puede superar el área de un campo de fútbol. El sustrato cerámico o metálico se recubre de una capa denominada *washcoat,* que suele ser de óxido de aluminio. Esta capa mejora la adhesión de los metales preciosos.

En algunos catalizadores se emplea solo el platino para favorecer las reacciones de oxidación.

En algunos vehículos que disponen de poco espacio para instalar un catalizador de tres vías del tamaño adecuado, se monta un precatalizador para poder tratar todas las sustancias contaminantes. El monolito del precatalizador es metálico, dado que está muy próximo a la salida de gases de escape y tiene que soportar temperaturas mayores. Está formado por hojas de acero inoxidable de 0,1 mm de espesor, que sirven de sustrato.

Sabías que...

El catalizador es capaz de transformar más del 90 % de las sustancias contaminantes una vez que ha alcanzado su temperatura de funcionamiento.

El aspecto exterior de un catalizador es parecido a un silenciador. Los silenciadores se instalan en la línea de escape para reducir el ruido de los gases, que salen del motor a una presión muy elevada. Para disminuir la energía de la onda de escape, en el interior del silenciador se instalan tubos perforados para que los gases los recorran y pierdan energía a través de sus orificios por fricción. Además, pueden incluir cámaras de resonancia sintonizadas para que se produzca el rebote de las ondas a unas determinadas frecuencias, pero en sentido contrario, de forma que se anulen. El catalizador también ayuda a reducir la energía de los gases de escape.

A continuación se van a explicar los tres dispositivos más importantes en lo que se refiere a los catalizadores y las sondas lambda, que son el catalizador de tres vías con regulación lambda en los motores de gasolina, el catalizador de oxidación en los motores diésel y la sonda lambda de banda ancha.

- **El catalizador de tres vías con regulación lambda en los motores de gasolina:** la variación de concentración de sustancias nocivas en función de la relación estequiométrica de un motor de gasolina está representada en la Figura 13.17. Puede observarse que las emisiones de HC y CO se minimizan para mezclas cercanas a la estequiométrica, mientras que las emisiones de NO_X alcanzan su valor máximo, que normalmente es directamente proporcional a la carga del motor.

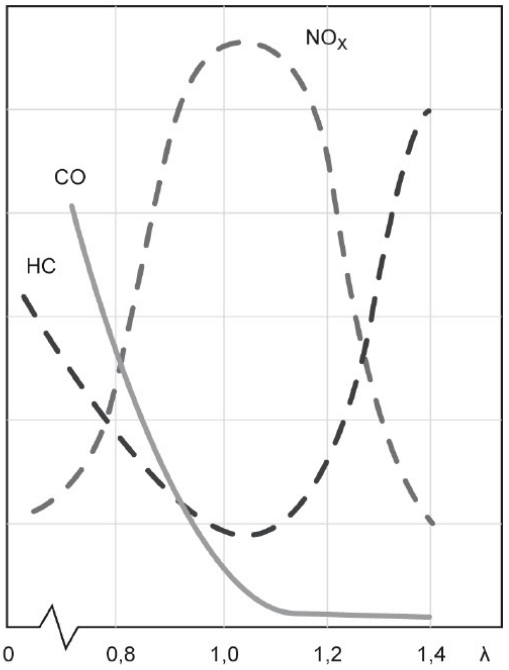


Figura 13.17. *Variación de concentración de sustancias nocivas en función de la relación estequiométrica de un motor de gasolina.*

El catalizador optimiza las reacciones de oxidación y de reducción en un entorno de mezcla próximo a la estequiométrica, denominado ventana lambda, como indica la Figura 13.18, que representa la variación de las concentraciones de sustancias nocivas tras el catalizador en función de la relación

© Ediciones Paraninfo

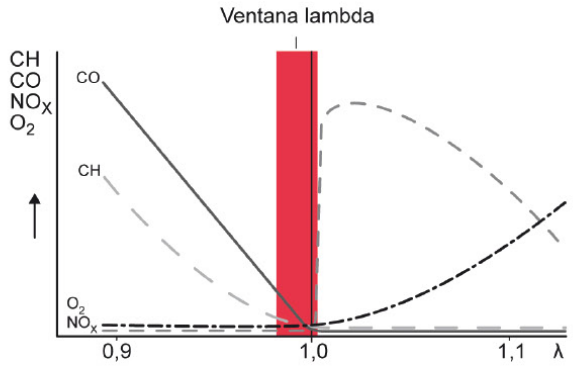


Figura 13.18. *Variación de las concentraciones de sustancias nocivas tras el catalizador en función de la relación estequiométrica a la salida del catalizador o eficacia del catalizador en función del valor λ.*

estequiométrica a la salida del catalizador o, lo que es lo mismo, la eficacia del catalizador en función del valor λ.

Sabías que...

El catalizador puede tardar menos de una décima de segundo en convertir las sustancias nocivas.

Para conseguir que el motor funcione con mezcla estequiométrica, es necesario un sensor que mida la concentración de oxígeno de los gases de escape. De esto se encarga el sensor de oxígeno o sonda lambda. La constitución y funcionamiento de este sensor se explica por medio de la Figura 13.19. El principio de funcionamiento de la sonda lambda se basa en la ecuación de Nerst. La aplicación simplificada para el caso de este dispositivo consiste en que si la proporción de oxígeno varía entre dos electrodos de platino, se genera una diferencia de potencial entre dichos electrodos.

La sonda lambda es capaz de detectar la proporción de oxígeno a partir de 300 °C, pudiendo llegar a alcanzar 900 °C. Cuando alcanza su temperatura de funcionamiento, la capa de óxido de circonio permite el paso de oxígeno por su interior. En la parte más interna de esta capa se sitúa un electrodo de platino, considerado negativo, que está en contacto con el aire ambiental, que sirve de referencia. En la parte externa se encuentra un electrodo de platino, considerado positivo, que está en contacto con los gases de escape.

Si la mezcla es rica, los gases de escape que entran en contacto con el electrodo negativo contienen una escasa proporción de oxígeno. El electrodo positivo, al estar en contacto con el aire ambiental, contiene una mayor proporción

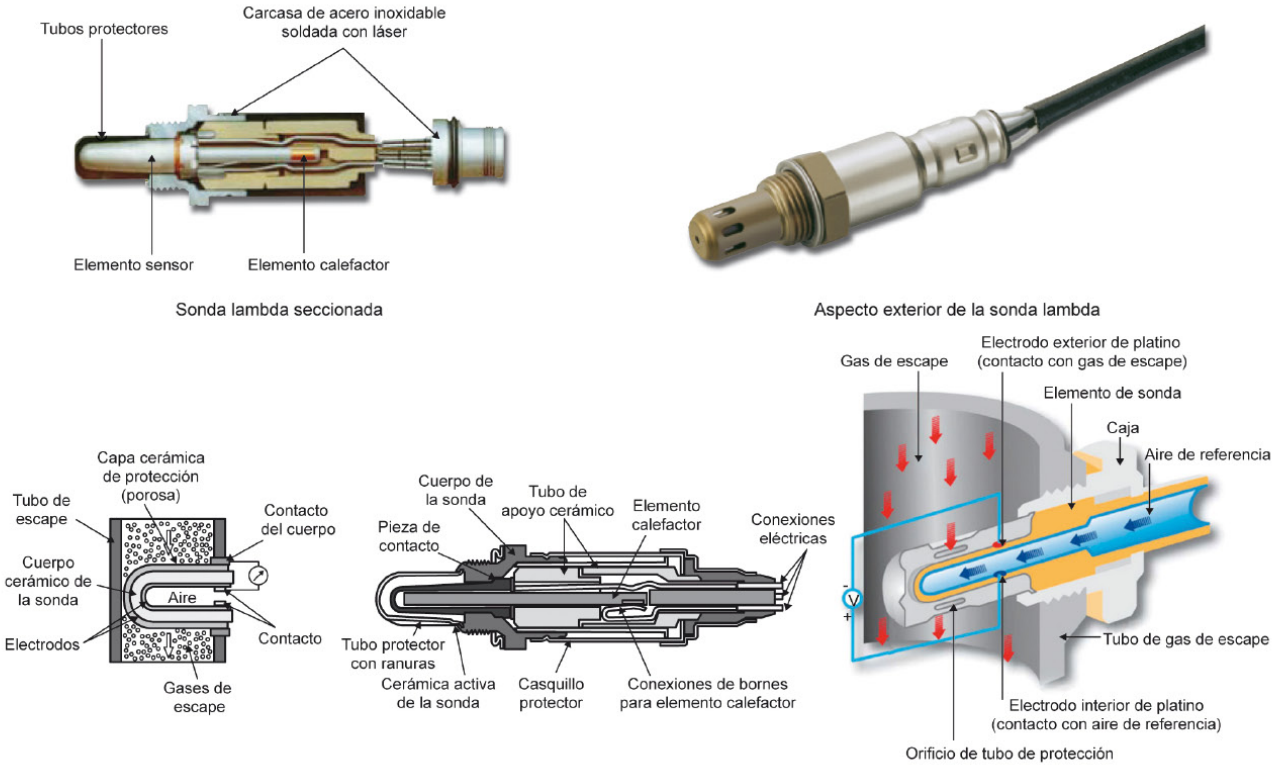


Figura 13.19. *Constitución y funcionamiento de la sonda lambda.*

© Ediciones Paraninfo

de oxígeno. El dióxido de circonio permite el paso de oxígeno del electrodo positivo al negativo, creando una tensión proporcional a la diferencia de oxígeno. En el caso de una mezcla rica, esta tensión es de aproximadamente 900 mV. Cuando la mezcla es pobre, la proporción de oxígeno en los gases de escape es mayor, disminuyendo la diferencia de potencial entre ambos electrodos, siendo en este caso de unos 100 mV. Cuando la mezcla es estequiométrica, la diferencia de potencial es de alrededor de 450 mV.

La unidad de control varía constantemente la proporción de mezcla o valor λ, generando una señal sinusoidal periódica que varía entre 100 y 900 mV, como muestra la Figura 13.20. De esta forma, el motor siempre funciona con mezcla estequiométrica y el catalizador optimiza las reacciones de oxidación y de reducción.

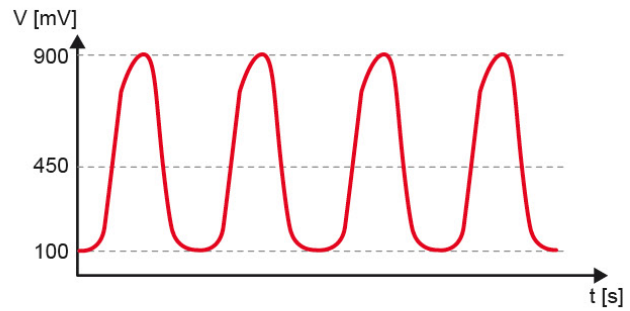


Figura 13.20. *Señal generada por la sonda lambda.*

La sonda lambda necesita alcanzar rápidamente su temperatura de funcionamiento y mantenerla. Existen sondas no calefactadas y calefactadas, como indica a modo de ejemplo la Figura 13.21. Las no calefactadas necesitan estar muy próximas a la salida de gases de escape y algunas van instaladas en el propio catalizador. Normalmente tienen un único cable de señal, realizando la masa a través de la unión roscada, o a través del sistema eléctrico del vehículo, teniendo dos cables en este caso. Las sondas calefactadas incorporan una resistencia calefactora de tipo PTC para alcanzar su temperatura de trabajo. Si tienen tres cables, uno de ellos es de señal y dos para la alimentación de la resistencia calefactora, realizando la conexión a masa a través de la rosca. Si tienen cuatro cables, la conexión a masa se hace a través de un hilo adicional conectado a la instalación eléctrica del vehículo.

Recuerda que...

Una resistencia de tipo PTC (*Positive Temperature Coefficient*) o de coeficiente de temperatura positivo aumenta su resistencia conforme lo hace la temperatura.

Figura 13.21. *Ejemplos de sondas lambda no calefactadas y calefactadas.*

Para poder cumplir las funciones de autodiagnóstico OBD y EOBD, es necesario instalar dos sondas lambda, una antes y otra después del catalizador. La Figura 13.22 muestra la ubicación de las sondas lambda y su misión. La unidad de control del motor compara las señales proporcionadas por ambos sensores. La diferencia de amplitud entre ambas señales da una idea de la capacidad de almacenamiento de oxígeno del catalizador para tratar las sustancias contaminantes. El catalizador irá perdiendo rendimiento con el paso del tiempo y esto se detecta con un aumento de la amplitud de la señal de la sonda lambda de diagnóstico. El rendimiento del catalizador se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\eta_{CAT} = \frac{V_{pp1} - V_{pp2}}{V_{pp1}} \cdot 100$$

Donde:

η_{CAT} es el rendimiento del catalizador expresado en %.

V_{pp1} es el valor pico a pico de la sonda lambda de regulación.

V_{pp2} es el valor pico a pico de la sonda lambda de diagnóstico.

© Ediciones Paraninfo

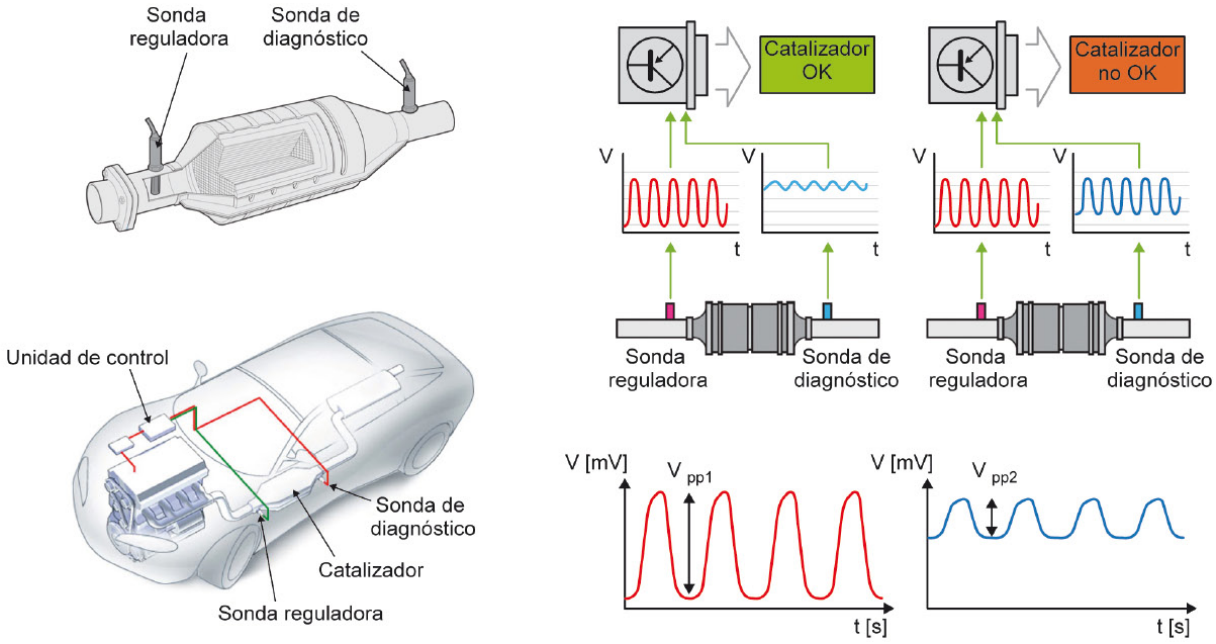


Figura 13.22. *Instalación de dos sondas lambda.*

Si la diferencia entre ambas señales alcanza un valor límite, el sistema de gestión del motor detecta una función anómala del catalizador e inscribe el código de avería correspondiente en la memoria. La avería se visualiza a través del testigo MIL (*Malfunction Indicator Light*) o testigo de exceso de contaminación.

Recuerda que...

El valor pico a pico de una señal es la diferencia en valor absoluto entre el máximo valor positivo y el máximo valor negativo.

Existen otros tipos de sonda lambda, que son las siguientes:

– **Sonda lambda de dióxido de titanio:** el dióxido de titanio tiene la propiedad de modificar su resistencia eléctrica de forma proporcional a la cantidad de oxígeno presente en los gases de escape. A diferencia de la sonda lambda de dióxido de circonio, varía la resistencia y no el voltaje. Si la proporción de oxígeno es elevada ($\lambda > 1$), la mezcla es pobre y la resistencia elevada, entre 1 y 1,5 MΩ. Si la proporción de oxígeno es reducida ($\lambda < 1$), la mezcla es rica y la resistencia disminuye, tomando un valor de 3 a 7 kΩ. La Figura 13.23 representa gráficamente el comportamiento de esta sonda, considerada también de salto como la de dióxido de circonio al funcionar con proporciones de mezcla muy próximas a la estequiométrica. La unidad de control proporciona una tensión de referencia a la sonda que puede ser, según el modelo, de 1 o de 5 V. La ventaja de esta sonda es más pequeña porque no necesita el aire exterior como referencia. El inconveniente es que es más frágil, ya que puede destruirse a temperaturas superiores a 850 °C y también es

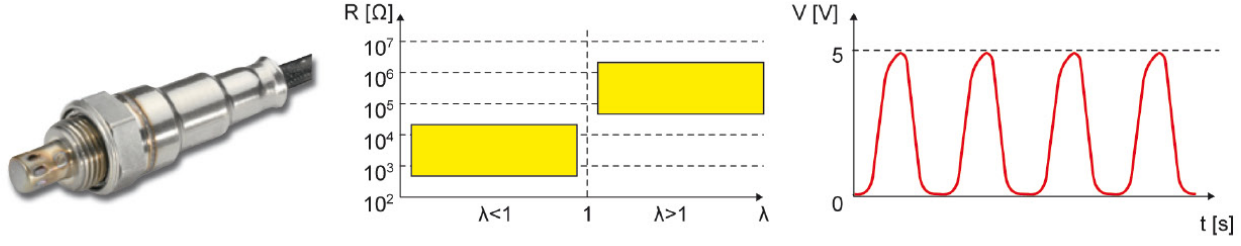


Figura 13.23. *Representación gráfica del comportamiento de una sonda lambda de dióxido de titanio.*

© Ediciones Paraninfo

menos precisa. Incluye también un elemento calefactor para alcanzar y mantener su temperatura de funcionamiento.

– **Sonda lambda planar:** consiste, como muestra la Figura 13.24, en diversas capas de cerámica con el elemento calefactor embutido, formando el conjunto una placa plana. Con esta configuración se alcanza la temperatura de funcionamiento el doble de rápido, reduciendo las emisiones contaminantes durante la fase de calentamiento. Esta configuración es la que adoptan también las sondas lambda de banda ancha.

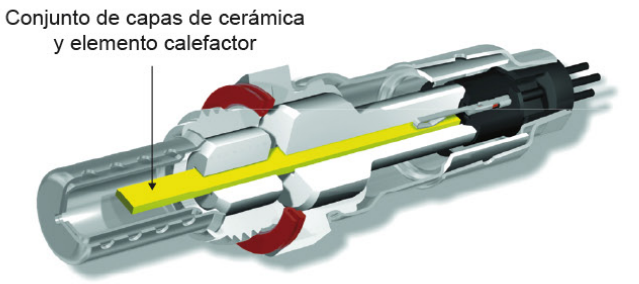


Figura 13.24. *Sonda lambda planar.*

Recuerda que...

Mientras el catalizador y la sonda lambda no alcancen su temperatura de funcionamiento, no se transforman las sustancias contaminantes.

- **El catalizador de oxidación en los motores diésel:** dado que los motores diésel trabajan con exceso de oxígeno, resulta imposible emplear un catalizador de tres vías. La reducción de los óxidos de nitrógeno no se puede llevar a cabo mediante catálisis, por lo que será necesario utilizar otros sistemas, como por ejemplo la recirculación de los gases de escape y otros más sofisticados dependiendo del tipo de motor y la norma anticontaminación que debe cumplir. Los catalizadores empleados en los motores diésel son de oxidación, que tratan los hidrocarburos no quemados y el monóxido de carbono. La estructura del conjunto es similar al caso del catalizador de tres vías. El monolito se aloja en una carcasa de acero inoxidable y se recubre de óxido de aluminio (*washcoat*), que, dada su rugosidad, consigue aumentar la superficie de contacto con los gases de escape unas 7000 veces. Sobre el *washcoat* se depositan los metales nobles como el platino o el paladio. El catalizador de oxidación puede depurar más del 90 % del CO pero menos de un 70 % de los HC, ya que si van adheridos a partículas sólidas, no pueden ser tratados.

Dadas las condiciones de mezcla en las que trabaja el motor diésel, siempre pobres, no es necesario regular el contenido en oxígeno mediante sondas lambda. No obstante, puede ser necesario conocer la concentración de oxígeno presente en los gases de escape, como por ejemplo, para determinar la cantidad de gases de escape a recircular mediante el sistema EGR. Esto no se puede realizar con las sondas lambda convencionales, ya que su margen de medición es muy estrecho, siempre en torno a la mezcla estequiométrica. Por este motivo, es necesario emplear otro tipo de sondas lambda, denominadas de banda ancha, que amplían el rango de medición.

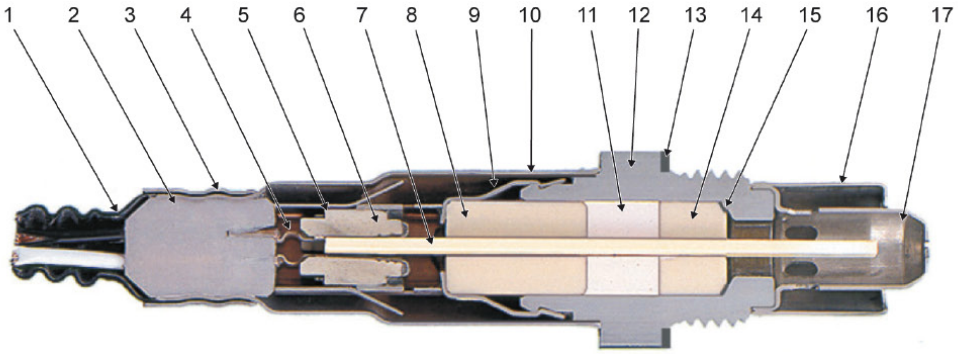
- **La sonda lambda de banda ancha:** la sonda lambda convencional, de salto o con curva característica discontinua solo puede medir el contenido de oxígeno de los gases de escape en un rango muy estrecho, en torno al valor de $\lambda = 1$. Los motores que trabajan con exceso de aire, como los de gasolina de inyección directa en el modo estratificado o los motores diésel, necesitan un sensor de oxígeno que amplíe el rango de medida. Este sensor es la sonda lambda de banda ancha, lineal o con curva característica continua, cuyos elementos principales están representados en la Figura 13.25.

La sonda lambda de banda ancha se puede utilizar en motores diésel para tres fines:

- Determinar la cantidad de gases de escape a recircular por el sistema EGR.
- Verificar que se está admitiendo el suficiente oxígeno para realizar la regeneración activa del filtro antipartículas, si lo incorpora.
- Reconocer el envejecimiento de los inyectores.

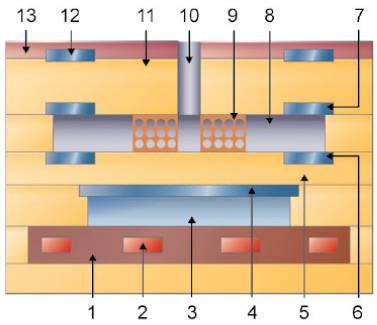
El funcionamiento de la sonda lambda de banda ancha se explica a través de la Figura 13.26. La célula de medición está formada por una capa cerámica de dióxido de circonio, donde se encuentran la célula de Nerst, similar a la de una sonda lambda convencional, y la célula de bombeo capaz de transportar iones de oxígeno. La ranura de difusión separa la célula de Nerst y la de bombeo, siendo su anchura del orden de micras. El conducto de entrada de los gases de escape permite que estos entren en la ranura de difusión. La célula de Nerst está en contacto por un lado con el aire atmosférico, a través del conducto de aire de referencia, y por el otro con los gases de escape de la ranura de difusión. Con la célula de bombeo se ajusta en la ranura de difusión una concentración de oxígeno presente en los gases de escape equivalente a la mezcla estequiométrica. Para ello, se establecerá una corriente de bombeo entre los electrodos externo e interno de la célula de bombeo de oxígeno. De esta forma, el oxígeno presente en los gases de escape puede ser bombeado hacia dentro o hacia fuera de la ranura de difusión por medio de la barrera porosa de

© Ediciones Paraninfo



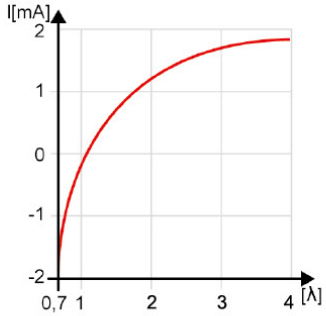
1. Tubo flexible protector.
2. Masa flexible de estanqueidad.
3. Manguito del tubo flexible.
4. Grapa de contacto.
5. Muelle de retención.
6. Portacontactos.
7. Elemento sensor (célula de Nerst).
8. Casquillo aislante superior.
9. Casquillo protector interior.
10. Casquillo protector exterior.
11. Junta de estanqueidad.
12. Carcasa de la sonda.
13. Junta anular exterior.
14. Casquillo aislante inferior.
15. Junta anular interior.
16. Tubo protector exterior.
17. Tubo protector interior.

Figura 13.25. *Elementos de la sonda lambda de banda ancha.*



Estructura interna de una sonda lambda de banda ancha

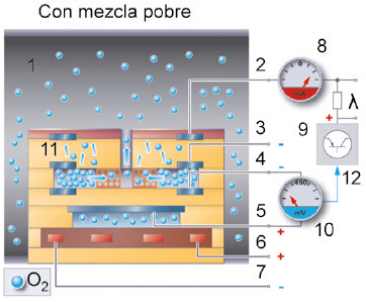
1. Capa aislante.
2. Resistencia calefactora.
3. Conducto de aire de referencia.
4. Electrodo interno de la célula de referencia.
5. Capa cerámica de dióxido de circonio.
6. Electrodo externo de la célula de referencia.
7. Electrodo interno de la célula de bombeo.
8. Ranura de difusión.
9. Barrera porosa de difusión.
10. Conducto de entrada de gases de escape.
11. Capa cerámica de dióxido de circonio.
12. Electrodo externo de la célula de bombeo.
13. Capa de protección.



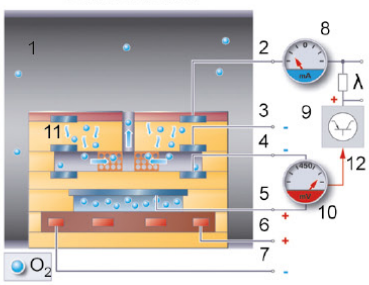
Curva característica de una sonda lambda de banda ancha

Funcionamiento de una sonda lambda de banda ancha

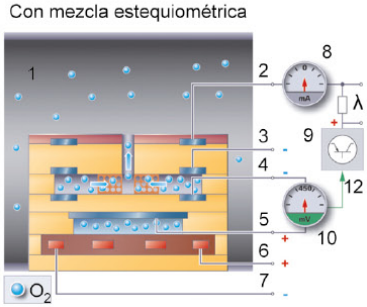
Con mezcla pobre



Con mezcla rica



Con mezcla estequiométrica



1. Conducto de escape.
2. Conexión del electrodo externo de la célula de bombeo de oxígeno (+).
3. Conexión del electrodo interno de la célula de bombeo de oxígeno (-).
4. Conexión del electrodo externo de la célula de referencia (-).
5. Conexión del electrodo interno de la célula de referencia (+).
6. Conexión de la resistencia calefactora (+).
7. Conexión de la resistencia calefactora (-).
8. Corriente de bombeo.
9. Conexión de evaluación.
10. Tensión de la célula de referencia.
11. Flujo de iones de oxígeno a través de la corriente de bombeo.
12. Unidad de control.

Figura 13.26. *Funcionamiento de la sonda lambda de banda ancha.*

© Ediciones Paraninfo

difusión. La unidad de control, a través de la conexión de evaluación, regula la tensión aplicada a la célula de bombeo en función de la tensión obtenida en la célula de Nerst, para que la concentración de los gases de escape en la ranura de difusión sea equivalente a $\lambda = 1$. Así, se pueden distinguir tres casos:

- **Mezcla pobre:** esta situación se detectará con una tensión en la célula de referencia de Nerst inferior a 450 mV. En este caso, la célula de bombeo extraerá iones de oxígeno de la ranura de difusión, estableciendo una corriente de bombeo positiva. Esta corriente es gobernada por la unidad de control, que la mide a través de la caída de tensión generada en la resistencia conectada en serie con la bomba de oxígeno. Esta operación se realiza hasta que se reestablecen 450 mV en la célula de referencia, indicando que los gases de escape contenidos en la ranura de difusión tienen una composición de $\lambda = 1$.
- **Mezcla rica:** en este caso, la tensión en la célula de referencia será superior a 450 mV. Para que se alcancen 450 mV es necesario que se bombeen iones de oxígeno hacia la ranura de difusión, desde los gases de escape. Esto se consigue estableciendo una corriente de bombeo negativa hasta alcanzar en la ranura de difusión una proporción de mezcla de $\lambda = 1$.
- **Mezcla estequiométrica:** ahora, la composición de los gases de escape en la ranura de difusión corresponde a una proporción de mezcla $\lambda = 1$. La tensión en la célula de referencia será de 450 mV, indicando mezcla estequiométrica y la corriente de bombeo será cero.

Con la sonda lambda de banda ancha, la unidad de control puede detectar, en función de la corriente de bombeo, proporciones de mezcla que oscilan entre $\lambda = 0{,}7$ y $\lambda = 4$.

Las sondas lambda de banda ancha son de tipo planar.

La sonda lambda de banda ancha suele tener cinco terminales, como puede verse en la Figura 13.27.

Sabías que...

Las sondas lambda se denominan según los siguientes acrónimos procedentes del alemán:

- LSH (*Lambda Sonde Heizung*) para las sondas lambda convencionales calefactadas.
- LSF (*Lambda Sonde Flach*) para las sondas lambda planares.
- LSU (*Lambda Sonde Universal*) para las sondas lambda de banda ancha.

Figura 13.27. *Terminales de una sonda lambda de banda ancha.*

13.8. El sistema de recirculación de los gases de escape EGR

El sistema de recirculación de los gases de escape EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) se encarga de reducir las emisiones contaminantes de NO_X. Se aplica en motores de gasolina y en motores diésel, dependiendo del tipo de motor y de la normativa anticontaminación que debe cumplir. En los motores de gasolina se emplea como complemento al catalizador de tres vías para reducir los NO_X. En los motores diésel es imprescindible, ya que emplean un catalizador de oxidación que no puede tratar los NO_X.

Los NO_X se producen por altas presiones y temperaturas en la cámara de combustión. El sistema EGR introduce en la admisión parte de los gases de escape, bajo ciertas condiciones, con el fin de reducir la concentración de oxígeno del aire aspirado. De esta forma, disminuye la temperatura de combustión en el cilindro, reduciéndose la formación de NO_X.

Con la recirculación de los gases de escape se consigue disminuir los NOx por disminución de la temperatura máxima del frente de llama gracias a la reducción de:

- El contenido en oxígeno.
- La velocidad de combustión.

Un exceso de recirculación de los gases de escape puede provocar:

- Una disminución de las prestaciones y de la suavidad de funcionamiento del motor.
- Un incremento del consumo de combustible.
- Un aumento de las emisiones de HC, CO y partículas.

El sistema EGR debe asegurar en todas las condiciones operativas del motor un equilibrio entre prestaciones, consumo, suavidad de marcha y emisiones contaminantes.

© Ediciones Paraninfo

Existen diferentes configuraciones en los sistemas EGR. A continuación se van a explicar las más importantes, que son las de accionamiento por vacío y las de accionamiento eléctrico.

- **Sistema EGR accionado por vacío:** dos ejemplos de este tipo son los siguientes:
  - **Con electroválvula gobernada por relé:** la Figura 13.28 muestra un ejemplo de este sistema aplicado a un motor diésel con bomba rotativa. Un relé es el encargado de regular la recirculación de los gases de escape en función de tres parámetros de entrada, que son el régimen de giro del motor, la temperatura del líquido refrigerante y la altitud con respecto al nivel del mar. El funcionamiento del sistema se explica a través de sus elementos, que son los siguientes:
    - » *Relé con interruptor altimétrico incorporado:* el relé contiene una electrónica que se encarga de procesar los parámetros de entrada. Cuando el interruptor altimétrico detecta que el vehículo circula por encima de 1000 m sobre el nivel del mar, desconecta el sistema EGR.
    - » *Sensor de temperatura del líquido refrigerante:* es de tipo NTC y el relé emplea su señal de forma que activa el sistema EGR cuando el líquido refrigerante supera 50 °C.
    - » *Alternador:* informa del régimen de giro del motor al relé, que procesa la información de la siguiente manera. Cuando el motor supera 1200 rpm, desconecta el sistema EGR durante dos segundos, volviéndose a conectar posteriormente. Mientras el motor esté girando por encima de 3200 rpm, desconecta permanentemente el sistema EGR.
    - » *Interruptor de carga parcial:* está unido a la parte superior de la bomba de inyección. Su posición es de normalmente cerrado y se abre cuando la palanca del acelerador supera la posición de carga parcial. Si la electrónica del relé estima que hay que recircular gases de escape, alimenta la electroválvula de dos vías a través del interruptor de carga parcial. Si está abierto, no se recirculan gases de escape, ya que la electroválvula no es alimentada. Si está cerrado, en posición de carga parcial, se recirculan gases de escape en función de los parámetros de entrada del relé.
    - » *Electroválvula de dos vías:* en función de la alimentación proveniente del relé, permite o no el paso de vacío desde el depresor hasta la válvula EGR.
    - » *Válvula EGR:* está formada por una membrana a la que se le une un vástago que permite o no el paso de gases de escape a la admisión. Estará abierta cuando le llegue el vacío procedente del depresor, estando la electroválvula abierta.

En motores de gasolina, la depresión se toma directamente del vacío existente en el colector de admisión.

  - **Con electroválvula gobernada por la unidad de control:** en la Figura 13.29 aparece un esquema de este sistema instalado en un motor diésel de inyección directa con regulación EDC. En este caso, la electroválvula que regula el vacío aplicado a la válvula EGR es

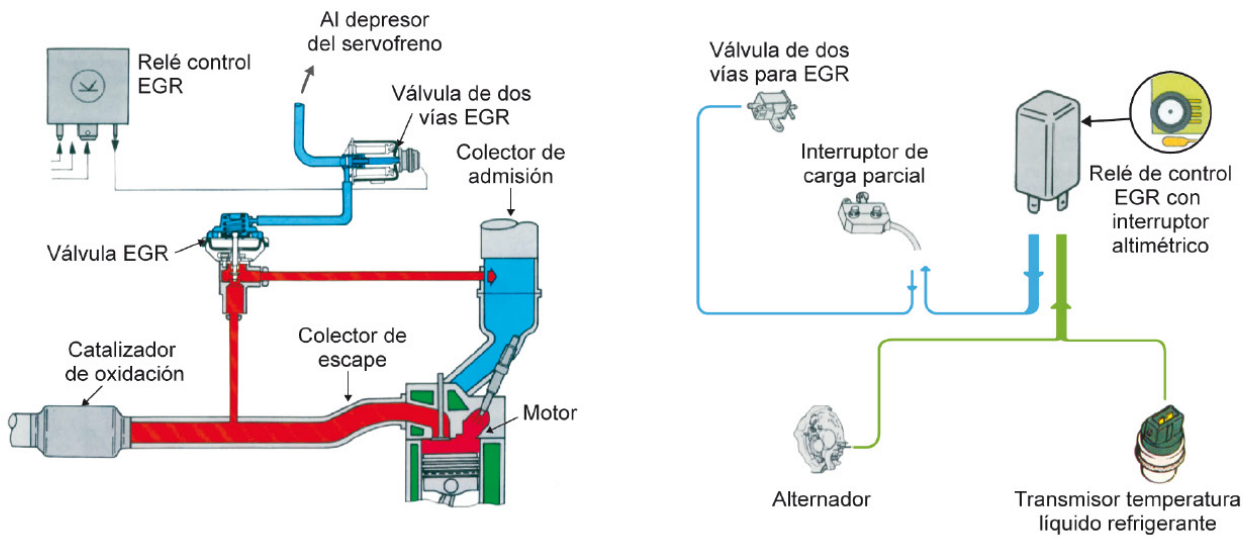


Figura 13.28. *Sistema EGR accionado por vacío con electroválvula gobernada por relé.*

© Ediciones Paraninfo

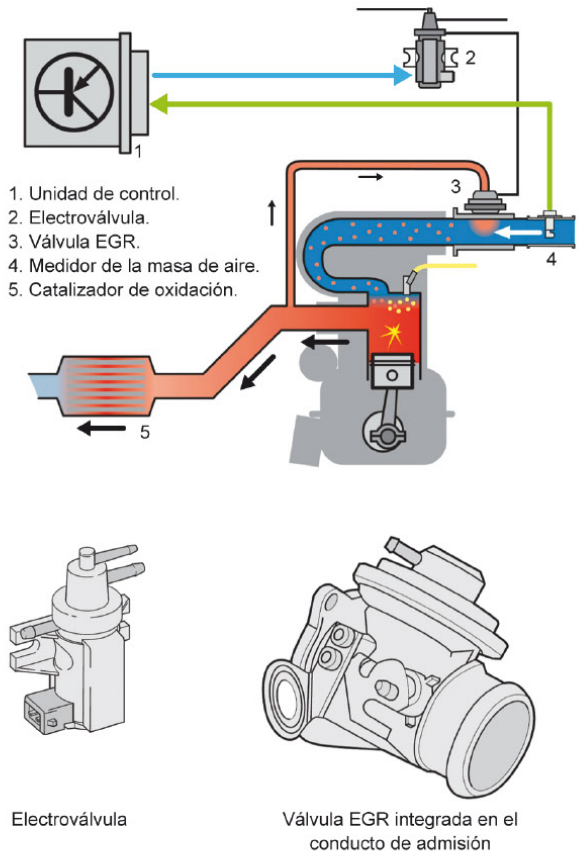


Figura 13.29. *Sistema EGR accionado por vacío con electroválvula gobernada por la unidad de control.*

gobernada por la unidad de control del motor a través de una señal de tipo PWM. Para determinar el tiempo de activación de la electroválvula y la cantidad de gases de escape a recircular, la unidad de control necesita información de diversos sensores, como por ejemplo régimen de giro del motor, presión atmosférica, temperatura del líquido refrigerante, masa de aire admitido o caudal de combustible inyectado, entre otras.

- **Sistema EGR accionado eléctricamente:**
  - **Con válvula controlada mediante una señal de tipo PWM:** este sistema aparece representado en la Figura 13.30. La unidad de control excita directamente la válvula EGR, que es una electroválvula. Su funcionamiento se gobierna a través de una señal de tipo PWM, en función de la cual se modifica la carrera de apertura para la recirculación. En el conjunto de la válvula EGR se incorpora un potenciómetro o un sensor Hall que informa a la unidad de control de la carrera de apertura efectiva de la válvula. De esta forma se realiza una regulación más rápida y precisa de la recirculación de los gases de escape.

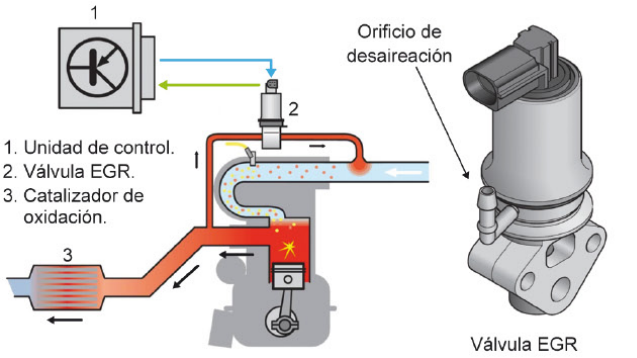


Figura 13.30. *Sistema EGR accionado eléctricamente mediante una señal de tipo PWM.*

Si la válvula EGR se avería quedándose abierta, el motor se para cuando llegue al régimen de ralentí y no es posible arrancarlo. Si se queda cerrada, la avería no influye en el funcionamiento del motor para la circulación. En cualquier caso la avería es detectada y memorizada por la unidad de control.

  - **Con válvula de mariposa accionada por un motor eléctrico:** en este caso, la válvula EGR consiste en una mariposa accionada por un motor eléctrico que es controlado por la unidad de control del motor, mediante una señal de tipo PWM. La Figura 13.31 muestra la ubicación y los componentes básicos de este sistema. Este tipo de válvulas EGR incorporan un sensor de ángulo de apertura de la mariposa, que consiste en un potenciómetro o en un sensor Hall. De esta forma, se detecta el ángulo de giro del imán permanente fijado al eje del sector dentado que mueve la mariposa. Con esta información de posición, la unidad de control regula de forma precisa la cantidad de gases de escape recirculados.

Si falla el motor de accionamiento de la mariposa, el muelle que se opone al giro del motor cierra la válvula, evitando la recirculación de los gases de escape. En caso de avería del sensor de posición de la mariposa, no se realiza la recirculación de gases de escape, manteniéndose cerrada la válvula.

Algunos sistemas EGR incorporan un enfriador de los gases de escape para disminuir su temperatura antes de entrar en el conducto de admisión. En este intercambiador, los gases de escape ceden calor al líquido refrigerante, de forma que aumentan su densidad y con ella la tasa de gases recirculados, disminuyendo las emisiones de NO_X. Algunos sistemas modernos incorporan una válvula de mariposa que regula el paso de los gases de escape a través del intercambiador en función de la temperatura del líquido refrigerante. Esta mariposa es movida por un actuador neumático

© Ediciones Paraninfo

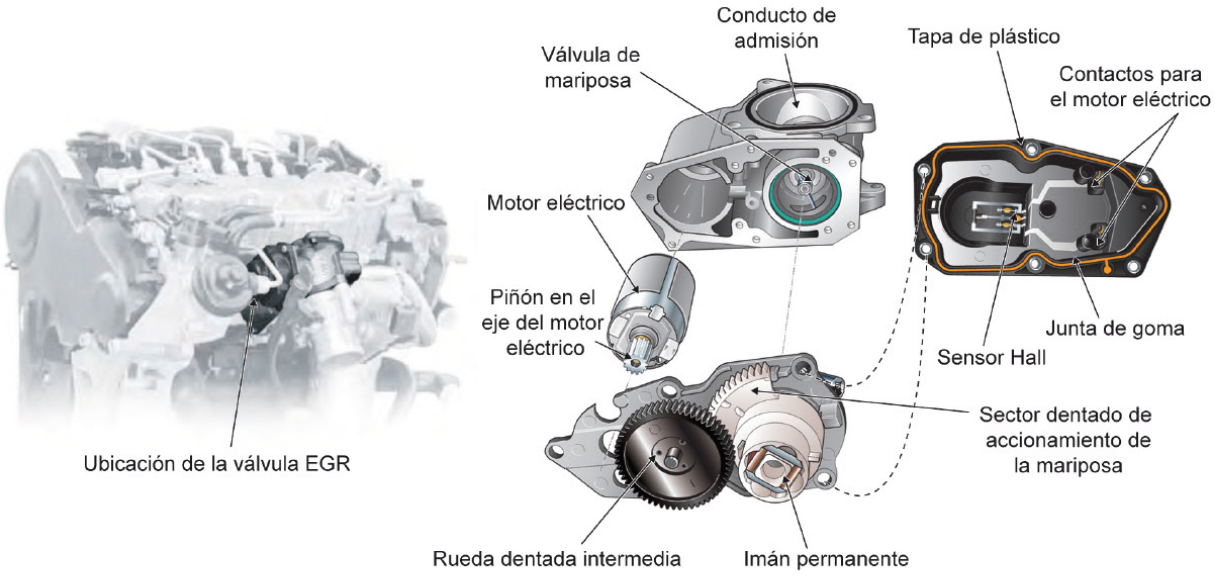


Figura 13.31. *Sistema EGR accionado eléctricamente por un motor eléctrico.*

al que le llega un cierto nivel de depresión regulado por una electroválvula. La Figura 13.32 muestra un ejemplo de enfriador de los gases de escape con regulación de paso en función de la temperatura del refrigerante. Cuando la temperatura es inferior a 30 °C, la válvula de mariposa está cerrada y los gases de escape no se refrigeran. Cuando se superan los 30 °C, la válvula de mariposa permite el paso de gases de escape por el intercambiador, refrigerándose.

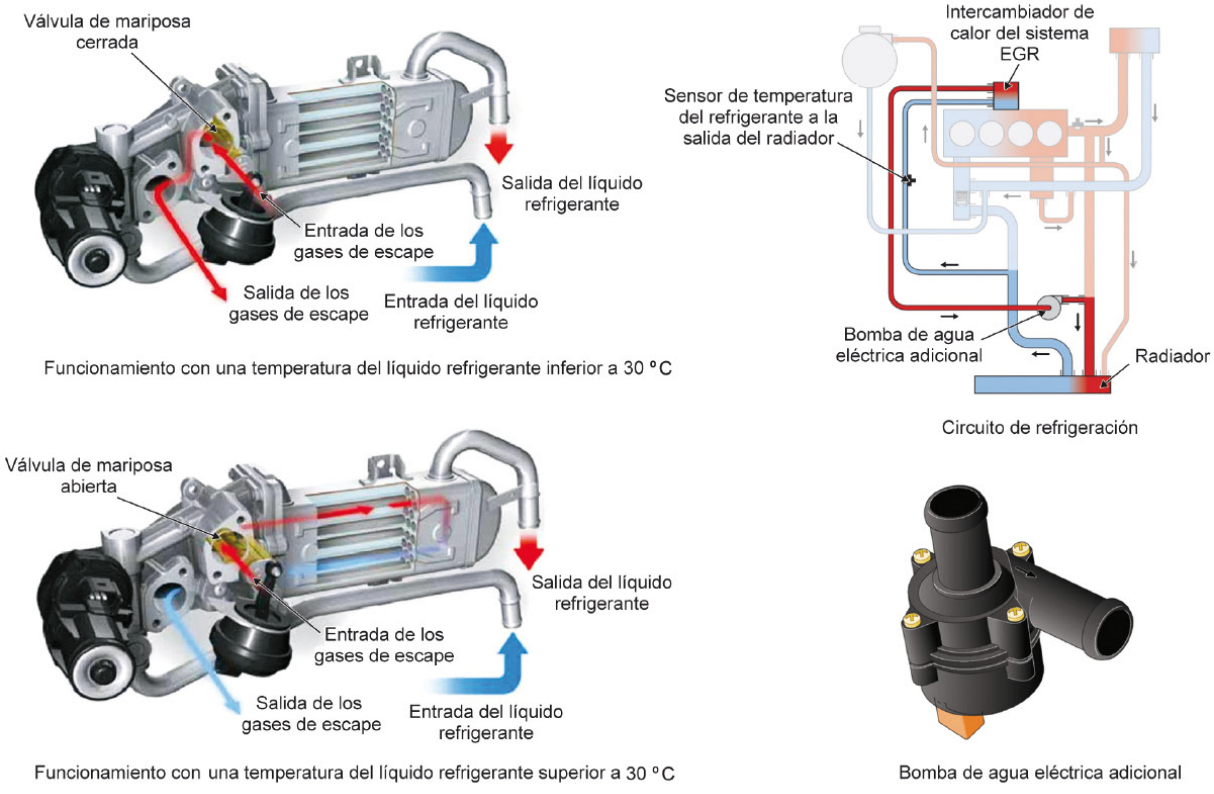


Figura 13.32. *Enfriador de los gases de escape con regulación de paso en función de la temperatura del refrigerante.*

© Ediciones Paraninfo

Muchos sistemas incorporan una bomba de agua eléctrica adicional para hacer circular el líquido refrigerante por el intercambiador de calor de los gases de escape. La bomba es controlada por la unidad de control y se mantiene accionada constantemente una vez el motor ha arrancado.

Recuerda que...

En muchos motores que montan sistema de distribución variable es posible realizar una recirculación interna de los gases de escape. Esto se consigue aumentando el cruce de válvulas, durante el cual, parte de los gases de escape pasan a la admisión.

Recuerda que...

La recirculación de los gases de escape solo se produce en determinadas condiciones operativas del motor, para no interferir ni en las prestaciones ni en la suavidad de marcha. Normalmente se realiza a cargas parciales y cuando el motor ha alcanzado una determinada temperatura de funcionamiento.

Las comprobaciones a realizar sobre el sistema EGR dependerán de la aplicación concreta. No obstante, se pueden resumir en la comprobación del circuito neumático, eléctrico y de refrigeración, si el sistema incorpora intercambiador de calor. Determinados elementos como electroválvulas, motor eléctrico o sensor de posición se verifican de la misma forma que otros similares empleados en diversos sistemas auxiliares del motor.

13.9. El catalizador-acumulador de NO_X

Existen motores en los que el catalizador de tres vías es insuficiente para tratar los óxidos de nitrógeno. Estos motores son los de inyección directa de gasolina cuando trabajan en el modo estratificado o en el modo homogéneo pobre. En estas condiciones de funcionamiento, existe un exceso de oxígeno y un déficit de carbono, provocando que el catalizador de tres vías convencional no pueda transformar la totalidad de los NO_X. El valor máximo de emisiones de esta sustancia se encuentra en mezclas ligeramente pobres, con un valor λ comprendido entre 1,05 y 1,1, como muestra la Figura 13.33. Para poder cumplir con la normativa anticontaminación en todos los modos operativos de este tipo de motores es necesario instalar un catalizador-acumulador de NO_X después del catalizador de tres vías.

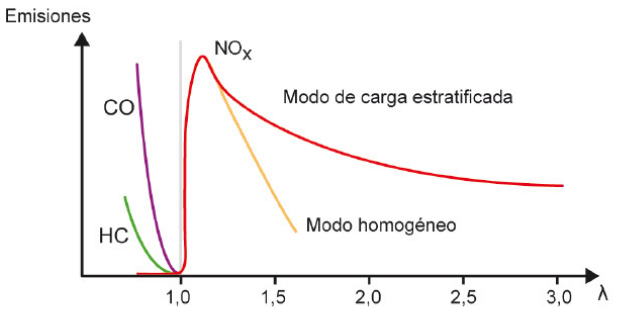


Figura 13.33. *Evolución de las emisiones de NO_X en función del valor λ.*

Recuerda que...

En la actualidad hay motores de inyección directa de gasolina que solo funcionan en modo homogéneo. En este caso no incorporan un catalizador-acumulador de NO_X.

Un problema que presenta el catalizador-acumulador de NO_X es el azufre contenido en la gasolina, combinándose con el material del acumulador del catalizador y ocupando los sitios destinados a los óxidos de nitrógeno. Cuanto mayor es el contenido en azufre, menor es la capacidad de almacenar NO_X y, por tanto, debe regenerarse más a menudo, como indica la gráfica de la Figura 13.34.

Además del catalizador-acumulador de NO_X, se sigue manteniendo el sistema de recirculación de los gases de escape EGR.

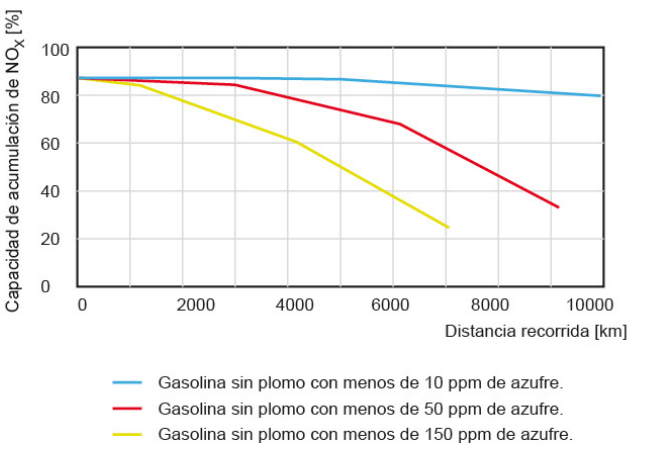


Figura 13.34. *Representación gráfica de la capacidad de acumulación de NO_X en función de los kilómetros recorridos por el vehículo, para diferentes concentraciones de azufre en la gasolina.*

© Ediciones Paraninfo

La Figura 13.35 muestra los elementos del sistema de escape. Aunque cada modelo puede tener configuraciones diferentes, a continuación se explica la misión de los componentes más importantes.

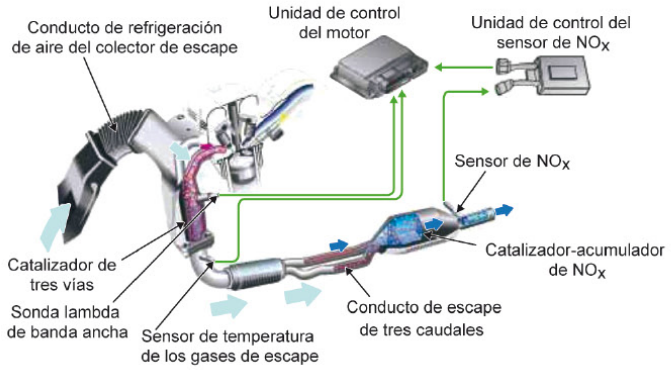


Figura 13.35. *Elementos del sistema de escape de un motor de inyección directa de gasolina con catalizador-acumulador de NO_X.*

- **Conducto de refrigeración de aire del colector de escape:** conduce aire procedente del frontal del vehículo hacia el colector de escape, con el fin de reducir la temperatura de los gases de escape. Esto se hace para que la temperatura del catalizador-acumulador de NO_X se mantenga estable entre 220 y 500 °C, ya que es el rango en el que este dispositivo puede almacenar los óxidos de nitrógeno.

Si el catalizador-acumulador de NO_X supera los 850 °C, su capacidad de almacenamiento se reduce de forma permanente.

- **Sonda lambda de banda ancha:** se ubica antes del catalizador de tres vías y es capaz de medir valores λ alejados de la relación estequiométrica, dadas las características de funcionamiento de este tipo de motores.
- **Catalizador de tres vías:** va situado después del colector de escape y su funcionamiento es similar al de un catalizador de tres vías de un motor de gasolina convencional. La única diferencia es que si el motor trabaja con un valor $\lambda > 1$, los HC y el CO tienen una mayor afinidad por el oxígeno excedente en los gases de escape que por los NO_X, de forma que estos últimos no son tratados. Mientras el motor trabaje con mezclas pobres, los óxidos de nitrógeno pasarán a través del catalizador de tres vías y serán transformados en el catalizador-acumulador de NO_X.
- **Sensor de temperatura de los gases de escape:** consiste en una resistencia NTC que informa a la unidad de control de la temperatura de los gases de escape para calcular la temperatura del catalizador-acumulador de NO_X. Esto es necesario porque la capacidad de acumulación solo se consigue entre 220 y 500 °C, por lo que únicamente si el catalizador-acumulador de NO_X se encuentra en ese margen de temperaturas se podrá conmutar al modo estratificado o al modo homogéneo-pobre. Por otro lado, para liberar el azufre acumulado, la temperatura del catalizador-acumulador de NO_X debe ascender como mínimo a 600 °C.
- **Conducto de escape de tres caudales:** está dispuesto antes del catalizador-acumulador de NO_X. Contribuye también a reducir la temperatura de los gases de escape, aumentando la superficie de contacto del conducto con el aire que lo rodea. La acción conjunta de este dispositivo y la refrigeración del colector de escape puede reducir la temperatura de los gases de escape hasta 100 °C.
- **Catalizador-acumulador de NO_X:** su estructura es similar a la de un catalizador de tres vías. Sobre el *washcoat* se deposita un metal noble como el platino (Pt) y un material necesario para la acumulación de NO_X como el óxido de bario (BaO). La Figura 13.36 muestra el proceso químico de la acumulación y de la regeneración, que se puede dividir en dos fases:
  - **Acumulación:** el platino actúa como en un catalizador de tres vías, oxidando los HC y el CO. Los NO_X se acumulan en el BaO, que en presencia de O_2 forman nitrato de bario ($Ba(NO_3)_2$).
  - **Regeneración:** es necesario que el motor trabaje con mezcla rica ($\lambda = 0{,}9$), produciéndose más CO, HC y H_2. Primero se produce la desacumulación, transformándose el nitrato de bario ($Ba(NO_3)_2$) en óxido de bario (BaO), dióxido de carbono (CO_2) y monóxido de nitrógeno (NO). Posteriormente, el platino transforma el NO y el CO en N_2 y CO_2.

  El proceso completo se explica a través de la Figura 13.37, que comprende las siguientes fases:

  - **Acumulación:** cuando el motor trabaja con mezcla pobre, los óxidos de nitrógeno se van almacenando en el catalizador-acumulador de NO_X para su posterior tratamiento.
  - **Saturación:** dado que la capacidad de almacenamiento es limitada, hay que detectar la saturación del catalizador-acumulador de NO_X. Para ello se pueden emplear dos procedimientos:
    - » Basado en el cumplimiento de ciertas condiciones, a través de las cuales la unidad de control estima que el catalizador-acumulador de NO_X está saturado, como por ejemplo la temperatura de los gases de escape, el

© Ediciones Paraninfo

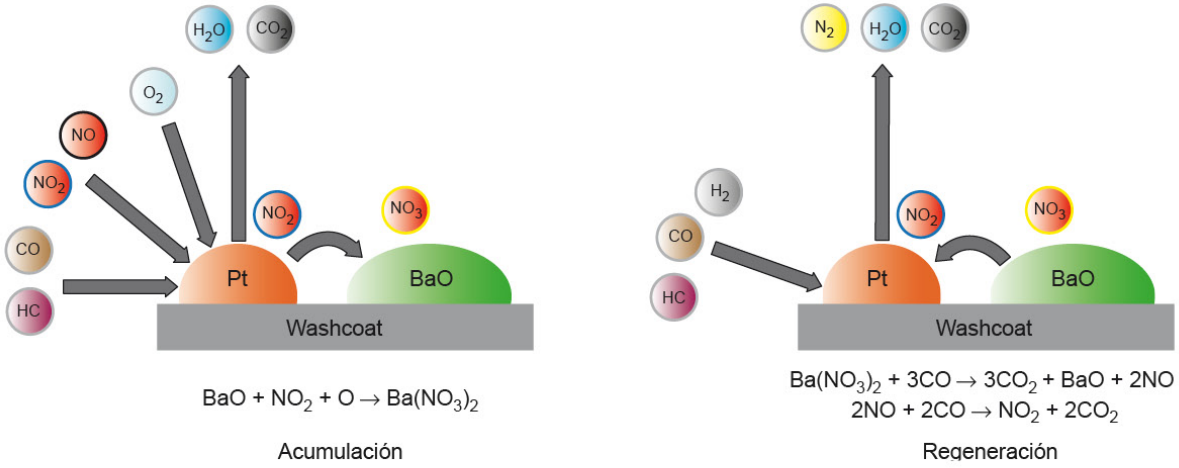


Figura 13.36. *Proceso químico de la acumulación y de la regeneración.*

tipo de conducción realizada y el grado de envejecimiento del catalizador-acumulador de NO_X.

» A través de la información proporcionada por el sensor de NO_X.

– **Regeneración:** para transformar los óxidos de nitrógeno, el motor tiene que funcionar con una mezcla más rica, alrededor de $\lambda = 0{,}9$. El catalizador-acumulador de NO_X puede almacenar los óxidos de nitrógeno durante un tiempo máximo de 90 segundos cuando funciona en el modo estratificado. Posteriormente se regenera durante aproximadamente 2 segundos.

El tiempo entre regeneración y regeneración depende de la capacidad del catalizador-acumulador de NO_X, el ciclo de conducción y la calidad del combustible.

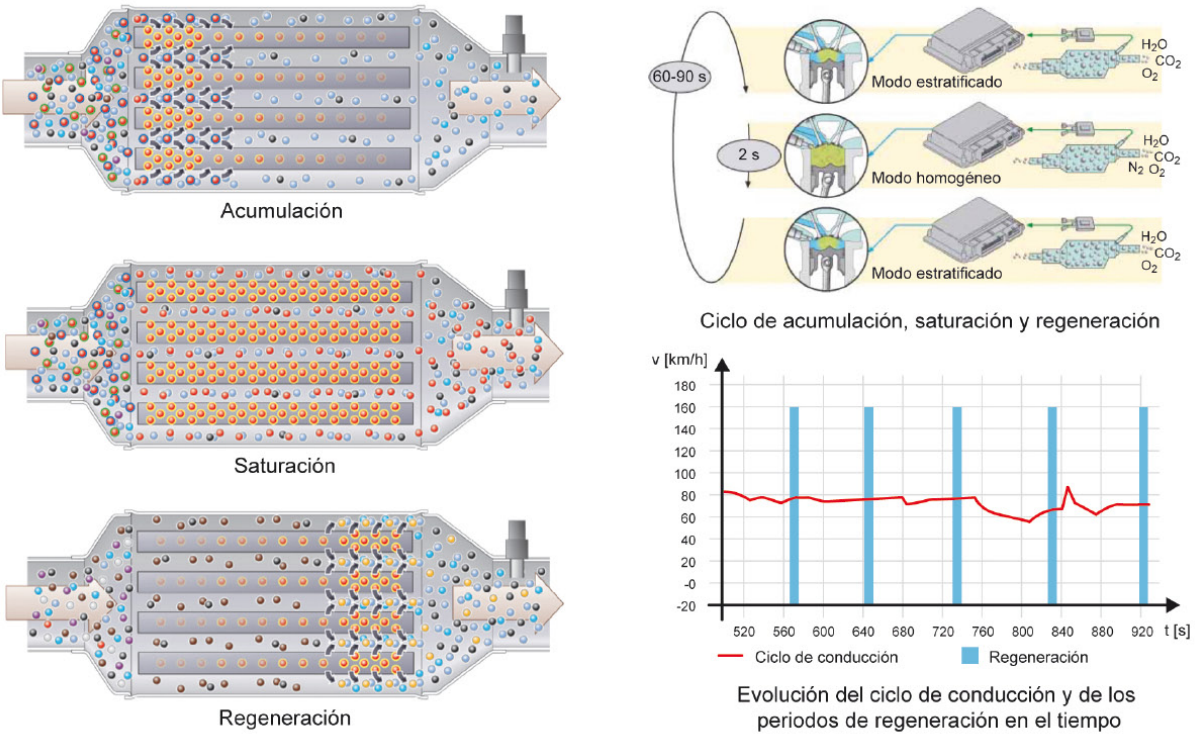


Figura 13.37. *Proceso completo de almacenamiento, saturación y regeneración del catalizador-acumulador de NO_X.*

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

En motores que incorporan dos líneas de escape y dos catalizadores-acumuladores de NO_X, la regeneración se suele producir primero en uno y luego en otro para limitar el consumo de combustible en estas circunstancias.

La unidad de control del motor almacena un determinado valor que está relacionado con el grado de envejecimiento y sulfuración del catalizador-acumulador de NO_X, ya que con el tiempo va perdiendo capacidad de acumulación. Por este motivo hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Cuando se sustituye la unidad de control del motor, hay que transferir los datos relativos al envejecimiento y sulfuración del catalizador-acumulador de NO_X.
- En caso de sustitución del catalizador-acumulador de NO_X, se deben resetear estos valores en la unidad de control.

- **Sensor de NO_X:** el funcionamiento de este sensor es similar al de una sonda lambda de banda ancha, relacionando la medición de NO_X con una medición de oxígeno. El proceso de medición se explica simplificadamente a través de la Figura 13.38. Una parte de los gases de escape entran en la cámara 1. Por la diferencia de oxígenos entre los gases de escape y la celda de referencia, se puede medir la tensión entre los electrodos de platino. La unidad de control del sensor de NO_X trata de mantener una tensión de 450 mV ($\lambda = 1$), controlando la corriente que alimenta la celda de bombeo de oxígeno 1. Con el valor de esta corriente se puede establecer el factor λ de los gases de escape. Los gases de escape, ya libres de oxígeno, pasan a la cámara 2, donde, un electrodo especial que hace de elemento catalítico disocia los NO_X en N_2 y O_2. Como entre los dos electrodos de la celda de bombeo de oxígeno 2 se regula una tensión constante de 450 mV, los iones de oxígeno fluyen del electrodo interior al exterior. La corriente necesaria para establecer esa tensión relaciona el contenido en oxígeno de la cámara 2, que guarda la misma relación con el contenido de NO_X, por lo que queda determinada la cantidad de estos últimos. El aspecto exterior y ejemplo de conexiones del sensor de NO_X puede apreciarse en la Figura 13.39.

Al igual que ocurre con las sondas lambda, el sensor de NO_X también tiene un elemento calefactor para alcanzar rápidamente y mantener su temperatura de funcionamiento.

Cuando el catalizador-acumulador de NO_X almacena azufre, se reduce la capacidad de acumulación. El óxido de bario se combina con el azufre formando sulfato de bario impidiendo su asociación con los óxidos de nitrógeno. El sistema de gestión del motor reconoce la sulfuración del catalizador-acumulador de NO_X cuando en una fase de regeneración no se producen los resultados esperados, detectados por el sensor de NO_X. En estas circunstancias, el

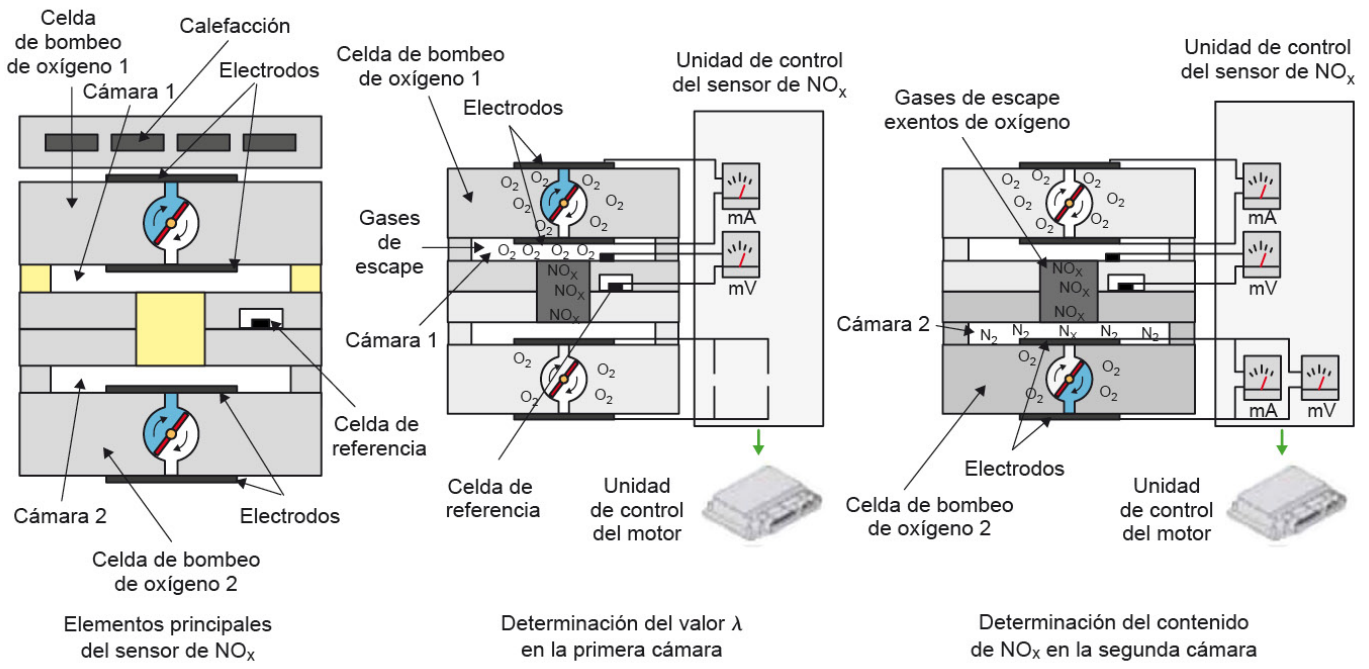


Figura 13.38. *Funcionamiento del sensor de NO_X.*

© Ediciones Paraninfo

Negativo de la resistencia calefactora (-).
Positivo de la resistencia calefactora (+).
Electrodo positivo de la bomba de oxígeno 1 (I_P 1 +).
Electrodo positivo de la bomba de oxígeno 2 (I_P 2 +).
Electrodo positivo de la célula de referencia (V_S +).
Electrodos negativos de las bombas de oxígeno y de la célula de referencia (I_P -) (V_S -).

Figura 13.39. *Aspecto exterior y ejemplo de conexiones del sensor de NO_X.*

catalizador-acumulador de NO_X debe alcanzar una temperatura de entre 600 y 650 °C para que el sulfato de bario se transforme otra vez en óxido de bario y el azufre sea expulsado. Para ello, a partir de una determinada velocidad de circulación del vehículo y durante dos minutos aproximadamente, el motor pasará a funcionar al modo homogéneo y se retrasará el momento de encendido para aumentar la temperatura de los gases de escape. Este proceso de desulfuración aparece representado en la Figura 13.40.

Recuerda que...

Para mantener una buena capacidad de almacenamiento del catalizador-acumulador de NO_X es necesario repostar gasolina de bajo contenido en azufre. De lo contrario, desaparecen las ventajas de los motores de inyección directa de gasolina con modo homogéneo y estratificado, aumentando el consumo de combustible y las emisiones contaminantes.

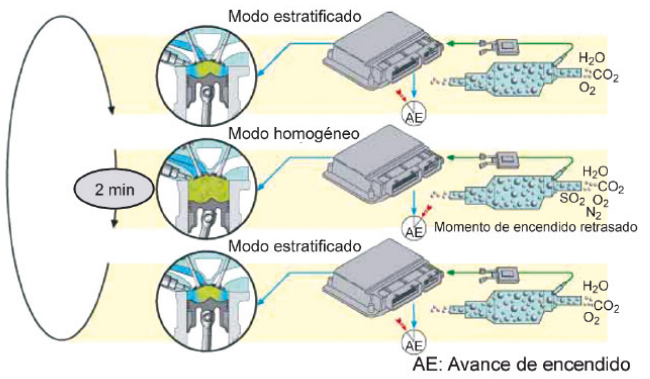


Figura 13.40. *Procedimiento de desulfuración del catalizador-acumulador de NO_X.*

13.10. El filtro de partículas en los motores diésel DPF

El filtro de partículas en los motores diésel DPF (*Diesel Particulate Filter*) es un dispositivo que se instala en vehículos diésel para poder cumplir las actuales normas anticontaminación en cuanto a emisiones de partículas se refiere. Las partículas están compuestas por un pequeño núcleo de carbono, de aproximadamente 0,5 μm de diámetro, al que se le adhieren ciertas combinaciones de hidrocarburos, sulfatos, óxidos metálicos, azufre y agua. Determinadas combinaciones de hidrocarburos resultan tóxicas. El objetivo del filtro de partículas es almacenarlas para posteriormente quemarlas, reduciéndolas hasta un tamaño en el que se consideran no contaminantes.

Sabías que...

El filtro de partículas también se conoce como FAP o filtro antipartículas.

La emisión de partículas suele producirse por una combustión incompleta ya que, dadas las características del motor diésel, dentro de la cámara pueden existir zonas con exceso de combustible y defecto de oxígeno. No obstante, la formación de partículas depende de muchos factores, como por ejemplo la geometría de los conductos de admisión, la presión de inyección o la forma de la cámara de combustión.

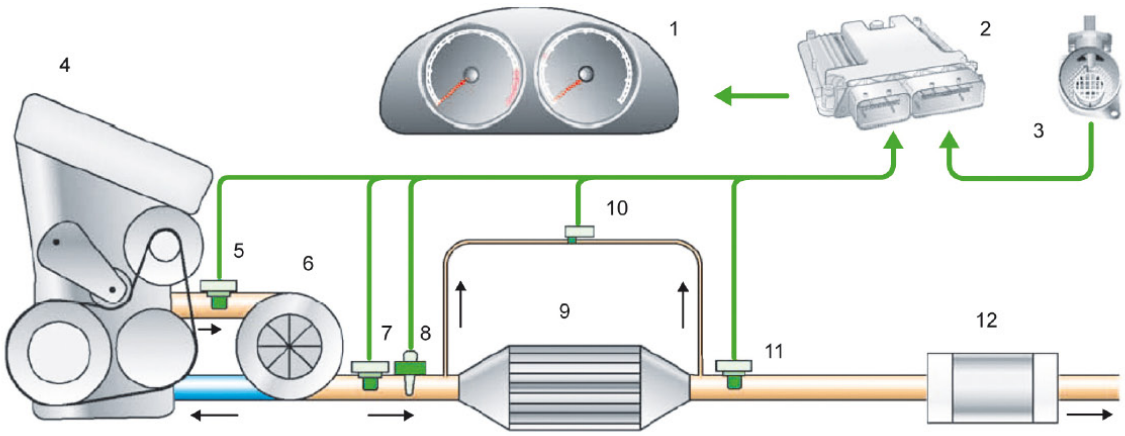
Se distinguen dos tipos de filtros de partículas, sin aditivo y con aditivo, que se explican a continuación.

- **Filtro de partículas sin aditivo:** este tipo de filtro se instala en una zona próxima al motor, para que los gases de escape tengan temperatura suficiente para el quemado de las partículas. La Figura 13.41 muestra el esquema general y componentes principales del sistema. Estos sistemas incorporan en un mismo conjunto el catalizador de oxidación y el filtro de partículas.

Si hubiera dos líneas de escape, se instalaría un filtro de partículas en cada una.

Su estructura aparece representada en la Figura 13.42, donde puede verse que cuenta con un cuerpo cerámico alveolar de carburo de silicio, dividido en canales longitudinales paralelos y cerrados alternativamente, generando conductos de admisión y escape separados por las paredes filtrantes de carburo de silicio. Estas paredes están recubiertas de óxido de aluminio y óxido de cerio, formando un sustrato para que se deposite el elemento

© Ediciones Paraninfo



1. Cuadro de instrumentos y su unidad de control.
2. Unidad de control del motor.
3. Medidor de la masa de aire.
4. Motor.
5. Sensor de temperatura de los gases de escape antes del turbocompresor.
6. Turbocompresor.
7. Sensor de temperatura antes del filtro de partículas.
8. Sonda lambda.
9. Filtro de partículas.
10. Sensor de presión diferencial.
11. Sensor de temperatura después del filtro de partículas.
12. Silenciador.

Figura 13.41. *Esquema general y componentes principales del sistema con filtro de partículas sin aditivo.*

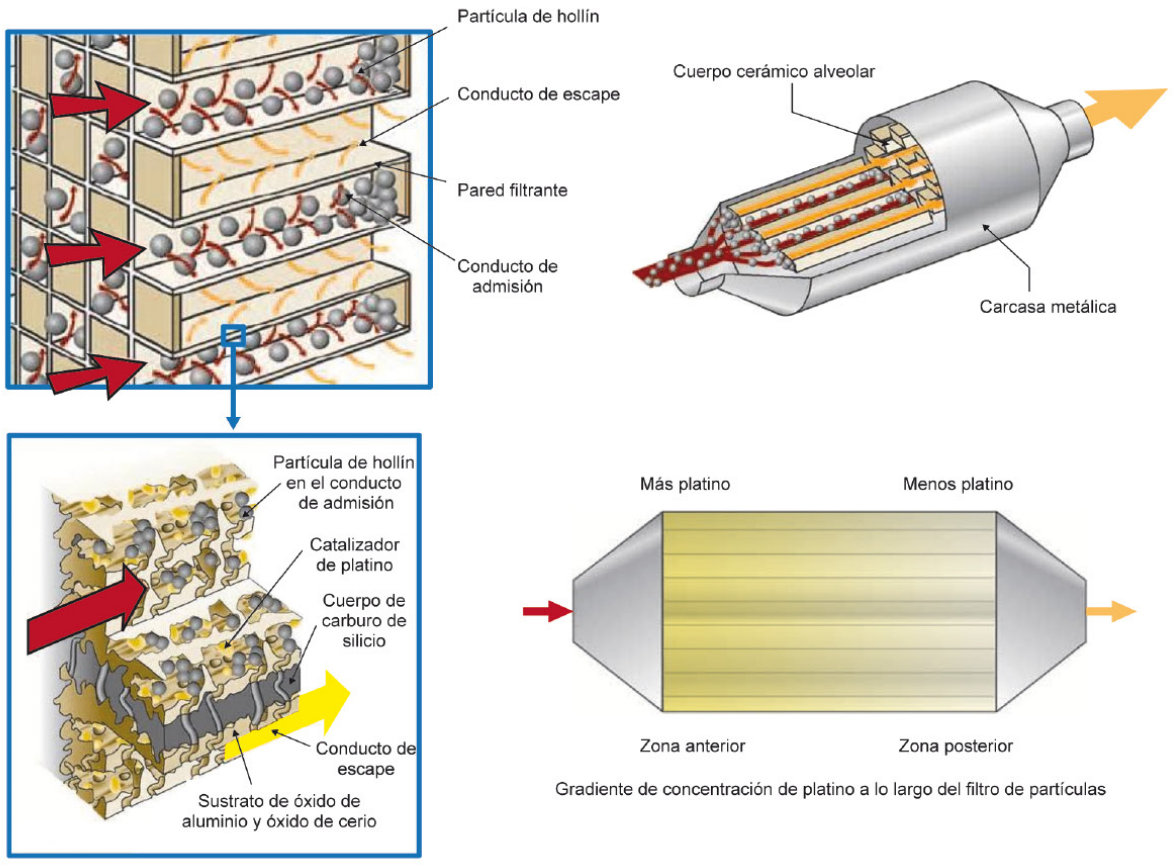


Figura 13.42. *Estructura de un filtro de partículas sin aditivo.*

© Ediciones Paraninfo

catalizador, que es el platino. En la zona anterior hay una mayor concentración de platino que en la zona posterior. Gracias a esto, el filtro de partículas se calienta más rápido, por las reacciones de oxidación en el proceso de catálisis. Por otro lado, las altas temperaturas en las fases de regeneración podrían destruir el recubrimiento de platino, por lo que se elimina concentración del mismo en la parte posterior, que es la más caliente durante la regeneración. Por último, la concentración de platino es menor en la parte posterior porque el envejecimiento del filtro comienza desde la zona posterior hasta la anterior y los residuos depositados van cubriendo el platino, dejándolo inactivo.

Dado que los canales longitudinales están cerrados en sentido de entrada y de salida de forma alternativa, los gases de escape son forzados a pasar por las paredes porosas de carburo de silicio, quedando retenidas las partículas. Para eliminar las partículas y evitar la saturación, el filtro debe regenerarse. El filtro de partículas sin aditivo tiene dos modos de regeneración, explicadas a continuación.

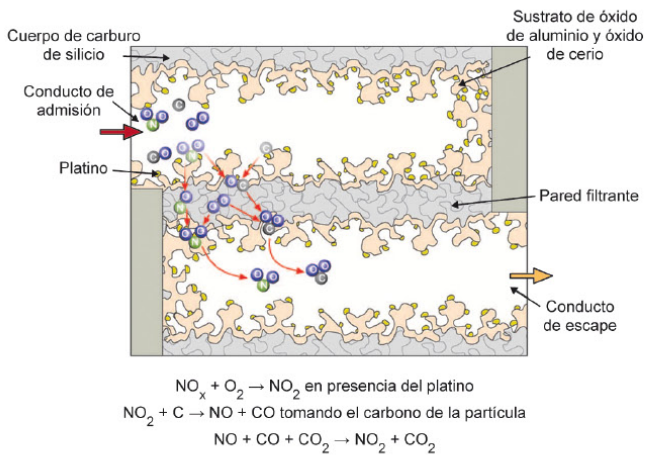


Figura 13.43. *Regeneración pasiva o continua del filtro de partículas sin aditivo.*

– **Regeneración pasiva o continua:** durante esta fase, las partículas se queman de forma continua y sin que intervenga el sistema de gestión del motor. Esto es posible mientras el vehículo circula por carretera y los gases de escape alcanzan más de 350 °C, temperatura a la que el platino funciona como catalizador de una reacción lenta y continua representada en la Figura 13.43.

– **Regeneración activa o intermitente:** se produce cuando la unidad de control del motor lo estima oportuno, aumentando la temperatura de los gases de escape. Suele ser necesario cuando el vehículo circula por ciudad, con poca carga, ya que la temperatura de los gases de escape no es lo suficientemente alta como para quemar las partículas. La temperatura de los gases de escape se eleva por encima de los 600 °C, transformando las partículas en dióxido de carbono, por oxidación de las mismas. Para poder llevar a cabo este proceso de regeneración, es necesario que la unidad de control del motor estime el grado de saturación del filtro midiendo la resistencia al flujo de gases, a partir de la información recibida del medidor de la masa de aire, del sensor de presión diferencial y de los sensores de temperatura anterior y posterior. Este proceso de regeneración está representado esquemáticamente en la Figura 13.44.

El grado de saturación del filtro es estimado por la unidad de control midiendo su resistencia al flujo. La diferencia entre la presión a la entrada y a la salida del filtro se mide con el sensor de presión diferencial. Por otro lado, calcula el caudal volumétrico de los gases de escape que, como es aproximadamente el mismo que el caudal de aire fresco en el conducto de admisión, toma la referencia del medidor de la masa de aire. Esta aproximación es válida aplicando una corrección de temperatura para los gases de escape, que se toma de los sensores de temperatura anterior y posterior. La resistencia al flujo se obtiene relacionando la diferencia de presiones antes y después del filtro con el caudal volumétrico de los gases de escape.

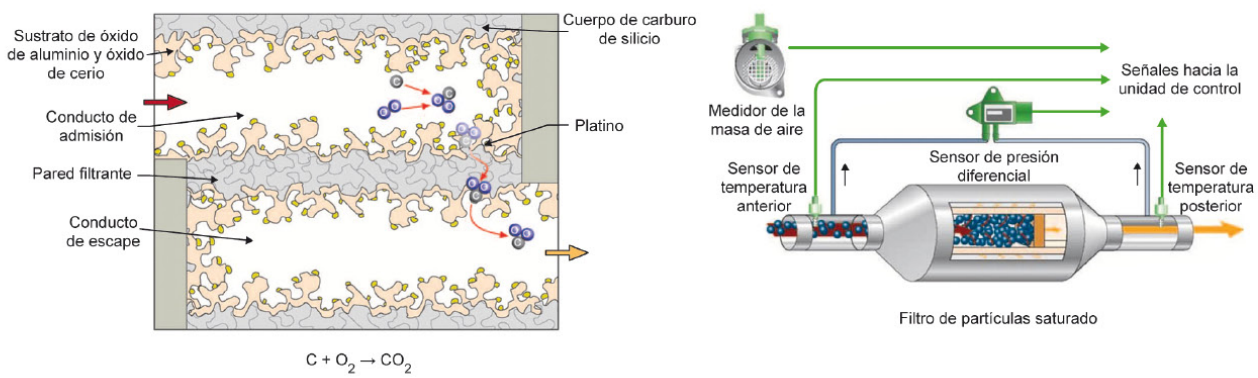


Figura 13.44. *Regeneración activa o intermitente del filtro antipartículas.*

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

Durante el proceso de regeneración puede producirse una mayor emisión de sustancias contaminantes, ya que el oxígeno oxida las partículas transformándolas en CO_2, pero si no hay una cantidad de oxígeno suficiente se produce también CO. Por otro lado, al interrumpir el funcionamiento del sistema EGR, los NO_X también se incrementan.

Una vez que la unidad de control determina que hay que realizar la regeneración activa, lleva a cabo las siguientes operaciones:

» Desactivación del sistema EGR para aumentar la temperatura de combustión.

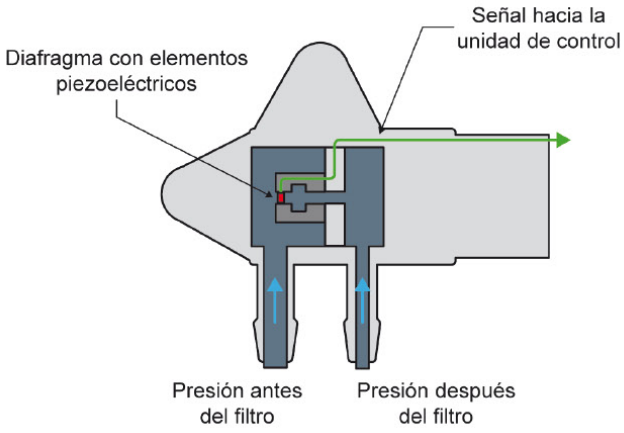
» Realización de postinyecciones para aumentar la temperatura de los gases de escape.

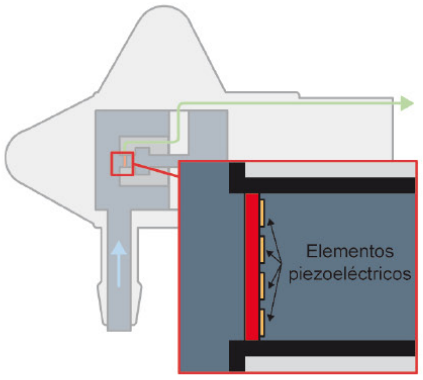
» Regulación de la entrada de aire en el motor a través de una mariposa eléctrica.

» Adaptación de la presión de sobrealimentación para que el conductor no perciba una diferencia del par entregado.

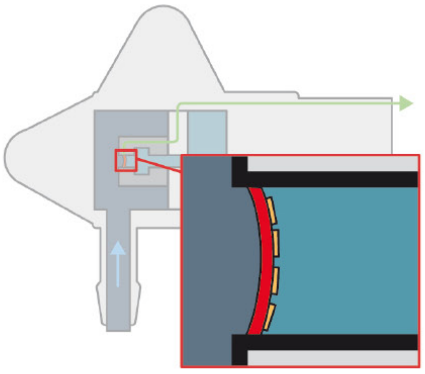
A continuación se van a explicar los elementos más importantes de este sistema:

– **Sensor de presión diferencial de los gases de escape:** mide la presión de los gases de escape antes y después del filtro de partículas. Está formado por un diafragma con elementos piezoeléctricos que modifican su resistencia en función de la presión. Cuando el filtro está vacío, la presión es la misma a ambos lados del diafragma. Según se va saturando, el diafragma se deforma y la variación de resistencia es interpretada por la unidad de control. Si se avería este sensor, el sistema practica regeneraciones periódicas en función del recorrido realizado, aunque si esta situación se prolonga mucho en el tiempo la regeneración deja de ser efectiva. Tras un cierto número de ciclos con esta avería, se enciende el testigo del filtro de partículas y parpadea el testigo de precalentamiento. La Figura 13.45 muestra los elementos principales del sensor de presión diferencial.





Presión antes del filtro = Presión después del filtro



Presión antes del filtro > Presión después del filtro

Figura 13.45. *Sensor de presión diferencial de los gases de escape.*

© Ediciones Paraninfo

Cuando el vehículo circula por ciudad, la temperatura de los gases de escape es demasiado baja para la regeneración del filtro. Por este motivo se realizan postinyecciones en las fases de deceleración. Al inyectar después del PMS se consigue que el combustible no se queme en el cilindro y se evapore. El combustible evaporado se quema en el filtro de partículas, aumentando la temperatura y regenerándolo. Es imprescindible la información del sensor de temperatura a la salida del filtro para regular este tipo de postinyecciones.

- **Sensores de temperatura de los gases de escape anterior y posterior:** son de tipo PTC y su información es procesada por la unidad de control para gestionar el ciclo de regeneración. En caso de avería o falta de señal, ocurre lo mismo que con el sensor de presión diferencial.
- **Sensor de temperatura de los gases de escape antes del turbocompresor:** es de tipo PTC y su señal es necesaria para que la unidad de control gestione las postinyecciones y proteja al turbocompresor de un exceso de temperatura en la fase de regeneración. Si se avería este sensor, el turbocompresor queda desprotegido y las regeneraciones son periódicas, como en los otros sensores.
- **Sonda lambda:** es de banda ancha y sirve para determinar la cantidad de oxígeno presente en los gases de escape. Con esta información, la unidad de control gestiona las postinyecciones necesarias para la regeneración. En caso de avería, la regeneración es menos precisa y aumentan las emisiones de óxidos de nitrógeno.
- **Medidor de la masa de aire:** es de película caliente y se emplea para calcular el volumen de los gases de escape y estimar el nivel de saturación del filtro de partículas. En caso de avería, el sistema reacciona llevando a cabo regeneraciones cíclicas e iluminando los testigos correspondientes del cuadro.
- **Testigo de exceso de contaminación (MIL):** dado que los componentes importantes para la composición de los gases de escape están vigilados por el diagnóstico de a bordo, el testigo, mostrado en la Figura 13.46, se iluminará en caso de avería de los mismos, bajo ciertas condiciones.

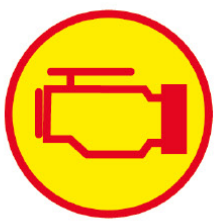


Figura 13.46. *Testigo de exceso de contaminación (MIL).*

- **Testigo para el filtro de partículas diésel:** va ubicado en el cuadro de instrumentos y se enciende cuando el vehículo ha circulado durante mucho tiempo en trayectos cortos y breves. Por este motivo, los gases de escape no han alcanzado la temperatura suficiente para la regeneración y el filtro se ha saturado. Para que el nivel de saturación no llegue a obstruir el filtro, el testigo, representado en la Figura 13.47, se ilumina indicando al conductor que debe conducir durante unos 15 minutos a una velocidad lo más constante posible, superior a 60 km/h, en cuarta o quinta marcha y por encima de 2000 rpm. Después de esta operación el testigo debe apagarse. Si no lo hace, se enciende el testigo de precalentamiento o de indicación de avería, debiendo acudir a un taller.

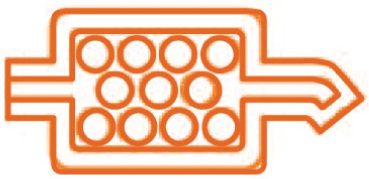


Figura 13.47. *Testigo para el filtro de partículas diésel.*

El modo de proceder concreto en caso de iluminarse el testigo para el filtro de partículas diésel debe consultarse en el manual del propietario del vehículo.

Recuerda que...

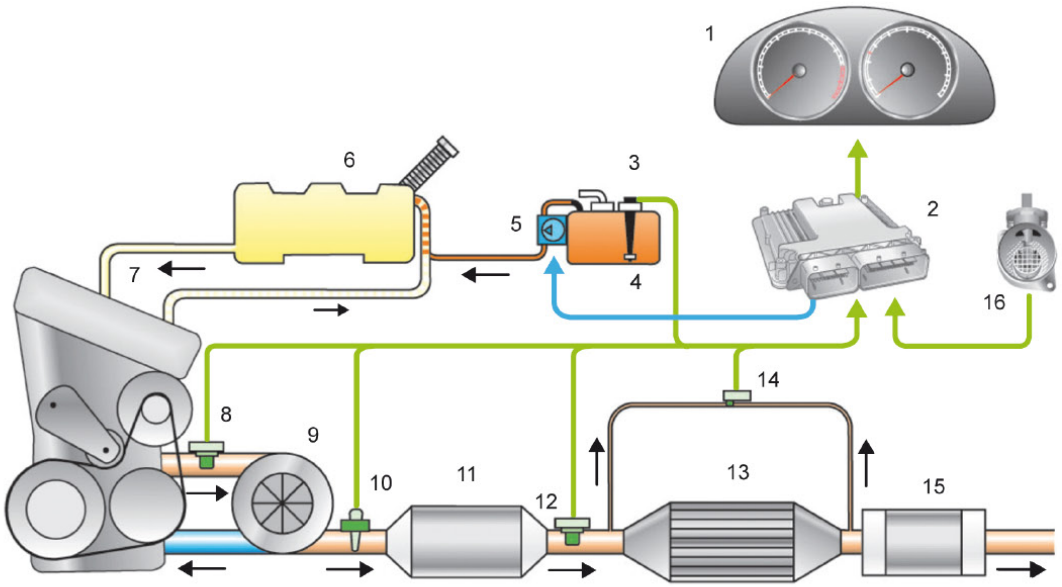
El número, tipo y función de los elementos del sistema del filtro antipartículas puede variar de unos modelos a otros, debiendo consultar en cada caso la documentación técnica del fabricante.

Existen filtros de partículas sin aditivo, que van instalados después del catalizador de oxidación, separados de él. En este caso, no tienen recubrimiento catalítico de platino, aunque conservan la misma estructura.

- **Filtro de partículas con aditivo:** en el caso de vehículos en los que el filtro de partículas se instala lejos de la salida de gases de escape del motor o cuando es necesario aumentar la eficiencia del filtro, se añade un aditivo al combustible. Los elementos principales de este sistema son los que aparecen en el esquema de la Figura 13.48.

  Los componentes y el funcionamiento de este sistema son muy parecidos a los del filtro sin aditivo. A continuación se van a explicar solo los elementos diferenciadores.

© Ediciones Paraninfo



1. Cuadro de instrumentos y su unidad de control.
2. Unidad de control del motor.
3. Depósito de aditivo.
4. Sensor de falta de aditivo.
5. Bomba de aditivo.
6. Depósito de combustible.
7. Motor.
8. Sensor de temperatura de los gases de escape antes del turbocompresor.
9. Turbocompresor.
10. Sonda lambda.
11. Catalizador de oxidación.
12. Sensor de temperatura antes del filtro de partículas.
13. Filtro de partículas.
14. Sensor de presión diferencial.
15. Silenciador.
16. Medidor de la masa de aire.

Figura 13.48. *Esquema general y componentes principales del sistema con filtro de partículas con aditivo.*

– **Filtro de partículas:** es similar al caso en el que no lleva aditivo. Se puede montar en la misma carcasa después del catalizador de oxidación o en una carcasa aparte, también después del catalizador de oxidación. La Figura 13.49 muestra estas dos posibles disposiciones.

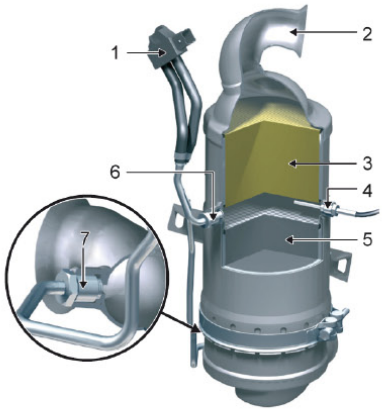
– **Aditivo:** es un activador con moléculas de hierro cuya función es la de reducir la temperatura de combustión de las partículas acumuladas en el filtro. Como muestra la Figura 13.50, está contenido en un depósito aparte del de combustible y una bomba eléctrica lo trasvasa a este de una forma precisa por medio del inyector de aditivo. Cada vez que se reposta, el sensor de nivel de combustible informa a la unidad de control de la cantidad de combustible introducido, calculando la cantidad de aditivo que debe trasvasarse al depósito para que se mezcle con el combustible. Una vez dosificado el aditivo, la concentración de moléculas de hierro en el combustible es de aproximadamente 10 ppm (partes por millón), o lo que es lo mismo, 1 litro de aditivo equivale a 2800 litros de combustible. El aditivo se deposita entre las partículas dentro del filtro.

El depósito de aditivo tiene una capacidad para cubrir un kilometraje de entre 80 000 y 120 000 km, según la marca y el modelo del vehículo. El aditivo conserva su estabilidad química durante unos cuatro años. Tras superar ese periodo, un cierto kilometraje o cuando se enciende el testigo del cuadro de instrumentos, hay que recoger el aditivo residual y llenar el depósito. Algunos fabricantes prescriben la sustitución del filtro de aditivo cada vez que se sustituye el filtro de partículas.

– **Sensor de falta de aditivo:** se ubica en el depósito de aditivo y avisa al conductor cuando queda un nivel mínimo de aditivo, a través del testigo de precalentamiento del cuadro de instrumentos. Su funcionamiento se explica a través de la Figura 13.51. El sensor se compone de un vástago en el que va montado un contacto de Reed cuyos contactos se cierran por la acción del campo magnético del imán colocado en el interior del flotador. Cuando el nivel de aditivo es bajo, el flotador desciende, los contactos se cierran y se ilumina el testigo de precalentamiento.

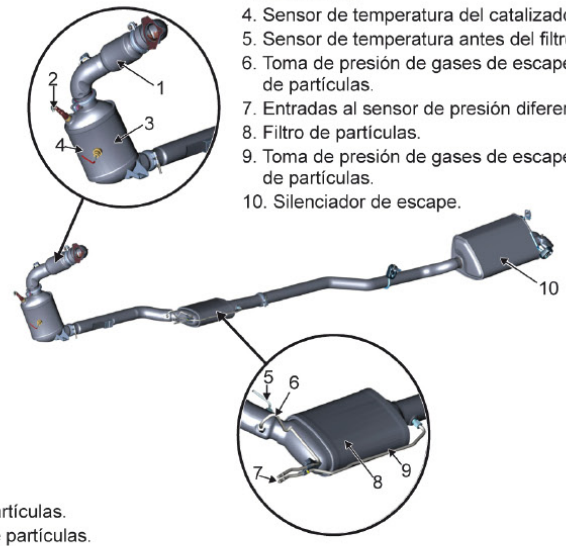
© Ediciones Paraninfo

Filtro de partículas después del catalizador en la misma carcasa



1. Sensor de presión diferencial.
2. Entrada de gases de escape.
3. Catalizador.
4. Sensor de temperatura del catalizador.
5. Filtro de partículas.
6. Toma de presión de gases de escape antes del filtro de partículas.
7. Toma de presión de gases de escape después del filtro de partículas.

Filtro de partículas después del catalizador en una carcasa distinta



1. Precatalizador (puede no llevarlo).
2. Sonda lambda.
3. Catalizador.
4. Sensor de temperatura del catalizador.
5. Sensor de temperatura antes del filtro de partículas.
6. Toma de presión de gases de escape antes del filtro de partículas.
7. Entradas al sensor de presión diferencial.
8. Filtro de partículas.
9. Toma de presión de gases de escape después del filtro de partículas.
10. Silenciador de escape.

Figura 13.49. *Diferentes disposiciones del filtro de partículas.*

1. Boca de llenado de combustible.
2. Conducto de desaireación.
3. Toma de masa.
4. Inyector de aditivo.
5. Conducto de desaireación.
6. Chapaleta de retención.
7. Recipiente de rebose.
8. Conducto de alimentación de combustible.
9. Conducto de retorno de combustible.
10. Bomba de alimentación de aditivo.
11. Depósito de aditivo.

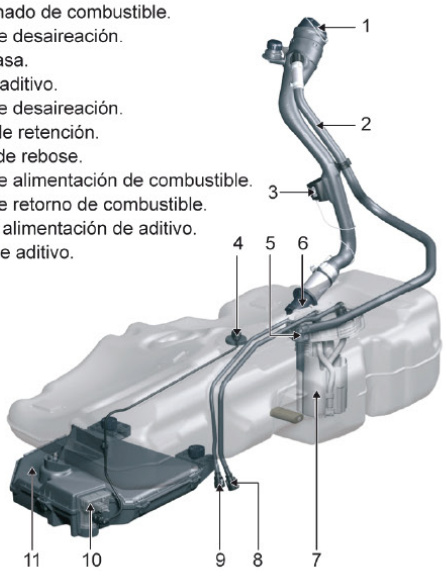


Figura 13.50. *Sistema de alimentación de combustible con depósito para el aditivo del filtro de partículas.*

Sabías que...

Un *Reed switch* o contacto de lengüeta es un interruptor eléctrico que se activa por la acción de un campo magnético.

Si el nivel de aditivo es excesivamente bajo, normalmente inferior a 0,3 litros, además de encenderse el testigo de precalentamiento, se suprimen los ciclos de regeneración del filtro y se reduce la potencia del motor.

Recuerda que...

Si el sensor de falta de aditivo falla, se inscribe una avería en la memoria de la unidad de control.

– **Bomba de aditivo:** va unida al depósito de aditivo y consiste en una bomba de émbolo alternativo que es excitada por la unidad de control tras introducir combustible en el depósito principal. El tiempo de excitación es función de la cantidad de combustible repostado. Su funcionamiento se explica por medio de la Figura 13.52. Antes de que la unidad de control excite la bomba, esta se halla cargada de aditivo. Cuando es excitada, el bobinado electromagnético desplaza el inducido y con él el émbolo de la bomba, venciendo la fuerza de su muelle. El émbolo obtura el taladro de afluencia hacia la cámara interior de la bomba e impulsa a presión el aditivo a través de la válvula de bola. De esta forma, el aditivo fluye hacia el depósito de combustible en una cantidad controlada por el volumen de la cámara inferior. Cuando el bobinado electromagnético deja de ser excitado, se produce la fase

© Ediciones Paraninfo

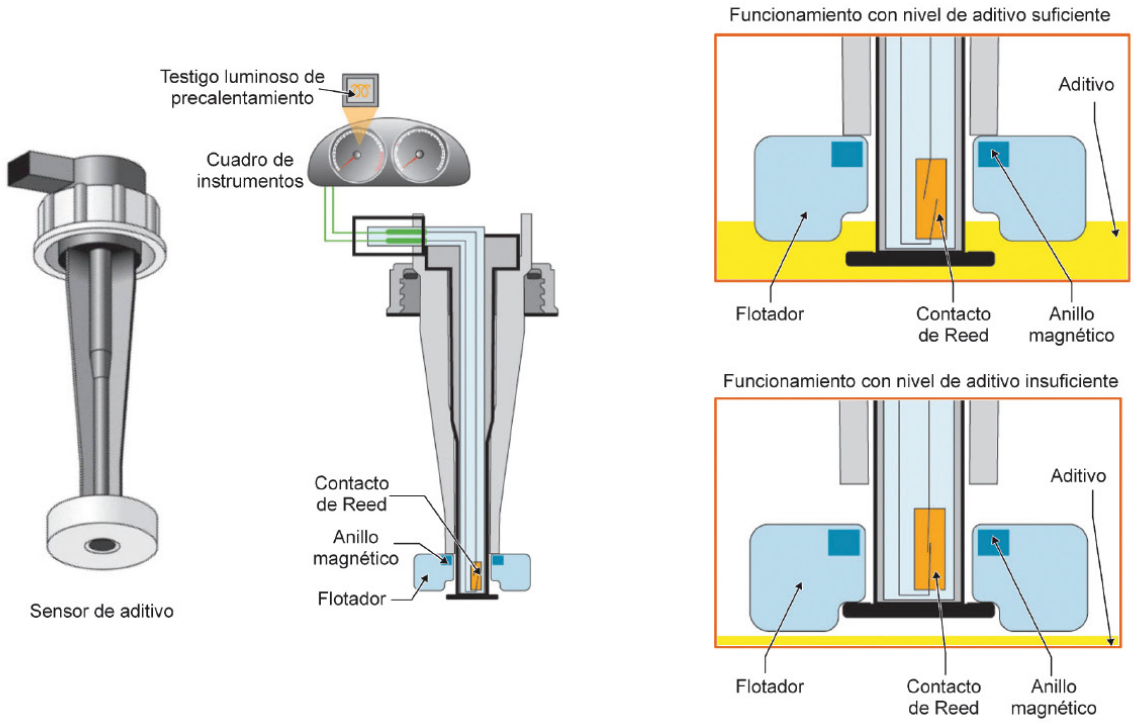


Figura 13.51. *Sensor de falta de aditivo.*

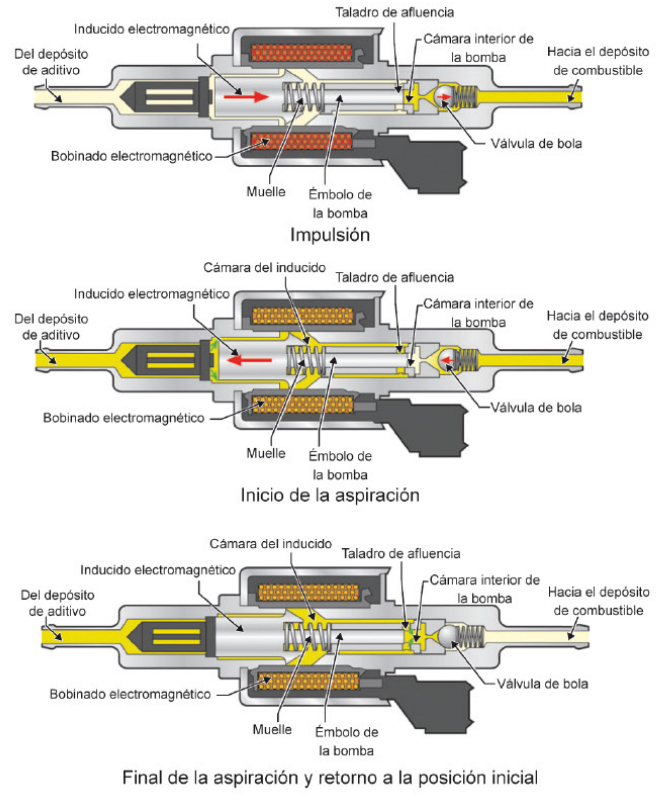


Figura 13.52. *Bomba de aditivo.*

de aspiración de aditivo, entrando en la cámara del inducido. El muelle empuja al émbolo de la bomba en sentido contrario y la válvula de bola obtura la salida de la cámara interior. Cuando el émbolo retorna a su posición inicial, se genera una depresión por la que se aspira el aditivo por el taladro de afluencia, que ahora está abierto, hacia la cámara interior de la bomba.

El funcionamiento del testigo luminoso para el filtro de partículas y el de exceso de contaminación (MIL) funcionan de la misma forma que en el caso del filtro sin aditivo, debiendo consultar en el manual del conductor las condiciones en las que se iluminan.

El filtro de partículas también retiene cenizas, procedentes de la combustión de aceite y de aditivo, que van disminuyendo la capacidad del filtro. La cantidad de cenizas acumulada es calculada por la unidad de control. Dado que las cenizas no son combustibles, el filtro de partículas debe sustituirse con una periodicidad comprendida entre los 120 000 y los 180 000 km, según la marca y el modelo del vehículo.

El biodiésel actual no está indicado para motores que incorporen filtro de partículas. Esto se debe a que en las postinyecciones se puede condensar combustible

© Ediciones Paraninfo

en las paredes del cilindro y luego descender al cárter, mezclándose con el aceite. El gasóleo convencional se separa del aceite evaporándose, mientras que el biodiésel, al tener una temperatura de ebullición mayor, no se evapora totalmente y diluye el aceite haciéndole perder sus propiedades. Además el biodiésel es más inestable frente a la oxidación. Por otro lado, un gasóleo con alto contenido en azufre disminuye la capacidad filtrante del sistema, aumentando el consumo de combustible y los ciclos de regeneración.

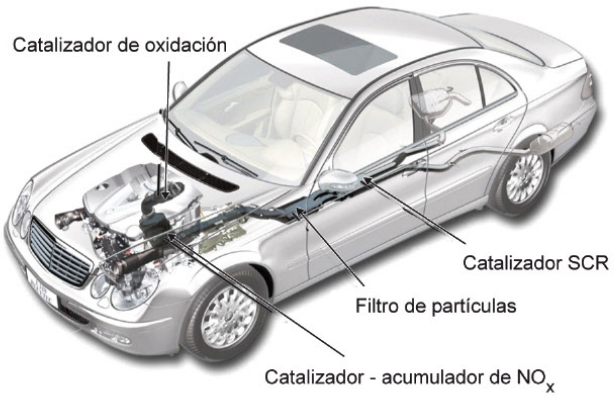
13.11. El sistema de reducción catalítica selectiva SCR

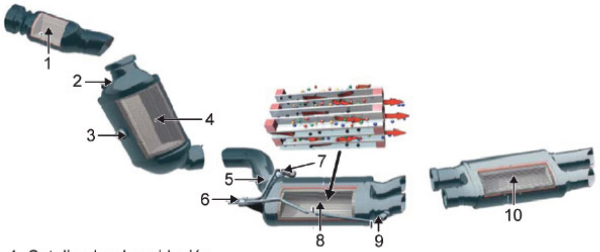
Debido a las mayores exigencias de la normativa anticontaminación, los motores que trabajan con mezcla pobre, como los motores diésel, no pueden tratar la totalidad de las emisiones de NO_X con los sistemas ya conocidos. Esto se agrava a partir de ciertas cilindradas y potencias en motores de vehículos de turismo y de vehículos industriales. Con el sistema EGR, a partir de un determinado porcentaje de gases de escape recirculados, el motor pierde mucho rendimiento, incrementándose el consumo de combustible y las emisiones de partículas. De esta forma, al intentar reducir las emisiones de NO_X, aumentan las de partículas al producirse una combustión de peor calidad. Si se pretende mejorar la combustión, aumentan las emisiones de NO_X y disminuyen las de partículas. Para optimizar todas estas variables, hay que realizar una combustión de calidad para mejorar el rendimiento del motor y disminuir el consumo de combustible, tratando posteriormente los gases de escape para reducir los NO_X y las partículas. Por este motivo, se ha desarrollado un sistema de reducción catalítica selectiva SCR (*Selective Catalytic Reduction*). A continuación se van a explicar los dos sistemas SCR más importantes, que son el seco y el húmedo.

Algunas marcas, como Mercedes Benz, han implantado el sistema SCR en sus vehículos, en este caso con la tecnología BLUETEC®, con la denominación de BLUETEC® 1 para el sistema seco y BLUETEC® 2 para el sistema húmedo.

La implantación del sistema SCR en cada vehículo dependerá de si es necesario o no para cumplir con los valores de emisiones límite para la normativa anticontaminación concreta a la que esté sujeto.

- **Sistema seco:** los elementos principales del sistema son los que aparecen en la Figura 13.53 y son los siguientes:
  - **Catalizador de oxidación:** se ubica a la salida de gases de escape del motor para que alcance lo más rápidamente posible su temperatura de funcionamiento, que debe estar por encima de 150 °C.
  - **Catalizador-acumulador de NO_X:** se encarga de almacenar los óxidos de nitrógeno para luego transformarlos en nitrógeno molecular (N_2), bajo ciertas condiciones. Su estructura es similar al catalizador de oxidación. Contiene metales nobles como sustancias catalizadoras para oxidar los HC, el CO y el NO. El recubrimiento de óxido de bario acumula los NO_X. Cuando oxida el NO, lo convierte en NO_2 y se acumula en el óxido de bario formando nitrato de bario ($Ba(NO_3)_2$). Para llevar a cabo la regeneración del catalizador-acumulador, el motor funciona





1. Catalizador de oxidación.
2. Orificio para la sonda lambda antes del catalizador-acumulador de NO_X.
3. Orificio para el sensor de temperatura en el catalizador-acumulador de NO_X.
4. Catalizador-acumulador de NO_X.
5. Orificio para el sensor de temperatura antes del filtro de partículas.
6. Conductos para el sensor de presión diferencial del filtro de partículas.
7. Conducto de presión de gases de escape antes del filtro de partículas.
8. Filtro de partículas.
9. Conducto de presión de gases de escape después del filtro de partículas.
10. Catalizador SCR.

Figura 13.53. *Elementos del sistema SCR seco.*

© Ediciones Paraninfo

periódicamente con mezcla rica ($\lambda < 1$), disolviéndose el nitrato de bario y convirtiéndose los óxidos de nitrógeno almacenados en CO_2, N_2 y H_2O, gracias a las sustancias reductoras CO, H_2 y HC. La fase de regeneración dura entre 2 y 5 segundos y se realiza cada pocos kilómetros, cuando los gases de escape están entre 200 y 450 °C. En la fase de regeneración se produce amoníaco (NH_3), debido al exceso de H_2 que hay en los gases de escape. El amoníaco se acumula en el catalizador SCR para seguir tratando los óxidos de nitrógeno. Debido al contenido en azufre del combustible y del aceite, se acumulan sulfatos (SO_X) que deben ser eliminados periódicamente con el proceso de desulfuración. Para la desulfuración es necesario aumentar la temperatura de los gases de escape por encima de 650 °C, enriqueciendo la mezcla durante unos dos minutos y en varias fases.

Recuerda que...

En los vehículos que incorporen un sistema SCR, hay que repostar combustible libre de azufre.

– **Filtro de partículas diésel DPF:** reduce las emisiones de partículas y normalmente funciona sin aditivo. Acumula las partículas para después quemarlas en el ciclo de regeneración, que se produce cuando la unidad de control lo estima preciso. Para producir la regeneración se realizan postinyecciones que aumentan la temperatura de los gases de escape. Aunque las regeneraciones del DPF son menos frecuentes que las del catalizador-acumulador de NO_X, se hacen coincidir para disminuir el tiempo en el que el sistema está a alta temperatura, superior a 650 °C. Un recubrimiento catalítico de metales nobles ayuda a tratar los HC y el CO en las fases de regeneración y disminuye la temperatura de combustión de las partículas.

– **Catalizador SCR:** se encarga de reducir el NO_X con el amoníaco acumulado tras el proceso de regeneración del catalizador-acumulador de NO_X. En su interior tiene un recubrimiento mineral de zeolita. La reducción de los NO_X produce N_2 y H_2O. Además, disminuye los olores en el proceso de desulfuración del catalizador-acumulador de NO_X.

- **Sistema húmedo:** se denomina húmedo porque para la reducción de los NO_X es necesario un aditivo conocido comercialmente con el nombre de AdBlue®. En la Figura 13.54 se muestran los componentes de este sistema.

A continuación se explican los componentes más importantes del sistema SCR húmedo:

– **Catalizador de oxidación y filtro de partículas:** funcionan de la misma forma que en el sistema seco, pudiendo estar integrados ambos en una misma carcasa.

– **Aditivo AdBlue®:** es una solución de agua destilada y urea ($CO(NH_2)_2$) al 32,5 %. Tiene aspecto transparente, olor característico, de inflamación no espontánea y no es tóxico. Es fácilmente biodegradable y de poco peligro para el agua y el suelo. Se emplea para la reducción de los óxidos de nitrógeno de los gases de escape, transformándose en amoníaco por hidrólisis, reaccionando con los NO_X y transformándolos en N_2 y H_2O. Las características de este aditivo quedan reguladas en la norma ISO 70070.

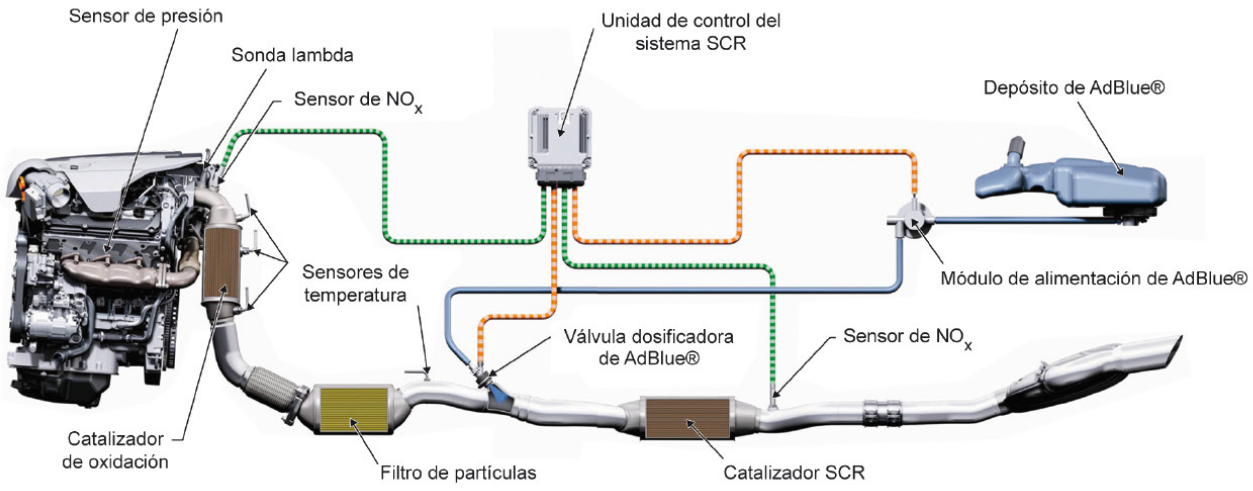


Figura 13.54. *Elementos del sistema SCR húmedo.*

© Ediciones Paraninfo

Recuerda que...

El AdBlue® se cristaliza con el aire a −11 °C, por lo que el sistema incorpora un dispositivo calefactor. Por otro lado, conserva sus propiedades durante un cierto tiempo, por lo que habrá que tener en cuenta su fecha de caducidad.

Sabías que...

Los derechos del mercado del AdBlue® pertenecen a la asociación de la industria del automóvil VDA.

– **Depósito de AdBlue®:** es de plástico y suele incorporar el módulo de alimentación con sensor de presión, el sensor de temperatura del aditivo, el elemento calefactor y el sensor de nivel. Un ejemplo de ubicación del depósito, junto con otros elementos del sistema, puede verse en la Figura 13.55.

En el cuadro de instrumentos va instalado un indicador permanente de nivel de AdBlue®, que informa al conductor de la cantidad de aditivo que hay en el depósito.

– **Módulo de alimentación de AdBlue®:** se sitúa próximo al depósito de aditivo y está formado por el sensor de presión, la bomba de alimentación y el elemento calefactor. La bomba de alimentación es gobernada por la unidad de control a través de una señal de tipo PWM. El sistema necesita una presión de unos 5 bar. Esta presión es registrada por un sensor específico para informar a la unidad de control.

El sistema incorpora elementos calefactores para evitar la congelación, así como dispositivos que mezclan el aditivo más caliente con el que está más frío cerca del depósito. Esto último se hace para disminuir la temperatura del AdBlue®, ya que por encima de 30 °C puede descomponerse por hidrólisis.

– **Unidad de control del sistema SCR:** se encarga de calcular la cantidad exacta de aditivo que debe inyectarse a la entrada del catalizador SCR. Para ello toma la información de dos sensores de NO_X, uno de ellos situado antes del catalizador SCR y otro después. Así, determina la cantidad a inyectar y el momento de hacerlo. Por otro lado, se encarga de la realimentación de aditivo para mantener su temperatura y de gobernar los elementos calefactores contra la congelación.

– **Válvula dosificadora de AdBlue®:** consiste en un inyector que introduce el aditivo en el tubo de escape, a la entrada del catalizador SCR. Es activada por la unidad de control a través de una señal de tipo PWM.

– **Catalizador SCR:** desde que el AdBlue® es inyectado hasta que llega a la entrada del catalizador SCR sufre un proceso de hidrólisis, donde la urea ($CO(NH_2)_2$) y el agua destilada (H_2O) se transforman en amoníaco (NH_3) y dióxido de carbono (CO_2). El NH_3 se almacena en el catalizador SCR y el CO_2 sale por el tubo de escape al exterior. Por otro lado, al catalizador SCR le

Figura 13.55. *Disposición del depósito de AdBlue® y otros elementos del sistema.*

© Ediciones Paraninfo

llega más CO_2 y H_2O procedentes de la reacción del catalizador de oxidación, además de los NO_x aún no tratados. El amoníaco actúa como agente reductor de los óxidos de nitrógeno, dando lugar a la reducción catalítica selectiva, que termina en nitrógeno molecular (N_2) y H_2O, por una oxidación final producida en presencia de oxígeno molecular (O_2). La Figura 13.56. muestra con detalle estas reacciones.

Recuerda que...

El número de elementos, así como el funcionamiento del sistema SCR, puede variar de unos vehículos a otros, debiendo consultar la documentación técnica específica para cada caso.

13.12. El diagnóstico de los gases de escape

A continuación se va a explicar el diagnóstico de los gases de escape para vehículos con motores de gasolina y motores diésel convencionales.

- **Diagnóstico de los gases de escape en motores de gasolina:** una de las comprobaciones que se pueden hacer es la medida del porcentaje en volumen de monóxido de carbono (% vol CO) al régimen de ralentí. Esta verificación fue de las primeras que empezaron a realizarse y ha sido muy utilizada en vehículos con alimentación por carburador y en los primeros modelos de inyección. El procedimiento a seguir se indica en la Figura 13.57. Para ello se emplea un analizador específico que consta de una sonda que se introduce a la salida del tubo de escape y la medida de CO se visualiza en la pantalla del analizador. El motor tiene que estar a la temperatura de servicio, al régimen de ralentí especificado por el fabricante y no deben funcionar otros elementos como el electroventilador o el compresor del aire acondicionado. La lectura del % vol CO debe encontrarse dentro de los límites especificados por el fabricante y legales. Si la puesta a punto del motor es correcta, así como su mantenimiento, especialmente de los filtros, la corrección del CO se hace ajustando el tornillo de riqueza de la mezcla al ralentí.

En los vehículos con catalizador, puede comprobarse la eficacia de este dispositivo utilizando un analizador de gases múltiples. Antes de proceder a su verificación hay que asegurar que el motor no tiene ningún fallo, que su puesta a punto es la adecuada y que la sonda lambda funciona correctamente. Para comprobar el estado de la sonda lambda, esta debe encontrarse a su temperatura de funcionamiento y puede utilizarse un polímetro o un osciloscopio. En una sonda lambda convencional o de salto, si se emplea un voltímetro, deberá observarse que la tensión varía continuamente entre 0,1 y 0,9 V, lo que indica que la unidad de control está constantemente enriqueciendo y empobreciendo la mezcla. La tensión debe aumentar transitoriamente al acelerar el motor, alcanzando unos 0,9 V, ya que la mezcla se enriquece. Por el contrario, al decelerar, durante un breve periodo de tiempo la mezcla se empobrece y el valor de tensión debe llegar a unos 0,1 V. En caso de no variar la tensión, puede ser debido a un fallo en la sonda lambda o en la unidad de control. Con el empleo del osciloscopio se puede hacer una comprobación más precisa de la sonda lambda. Si la sonda está envejecida o presenta otros daños, la señal emitida será diferente a la correcta, pudiendo darse dos casos:

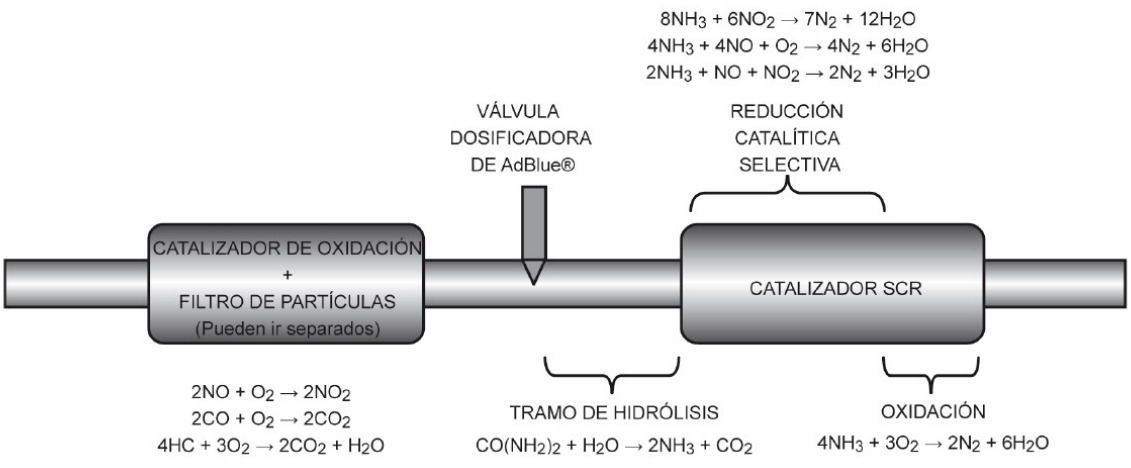
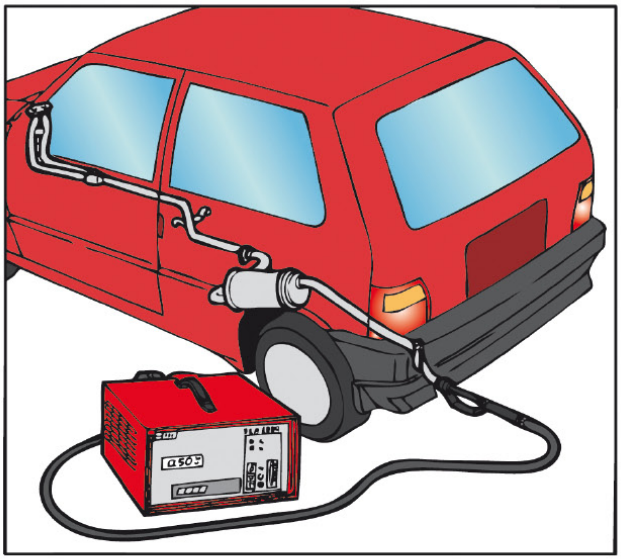
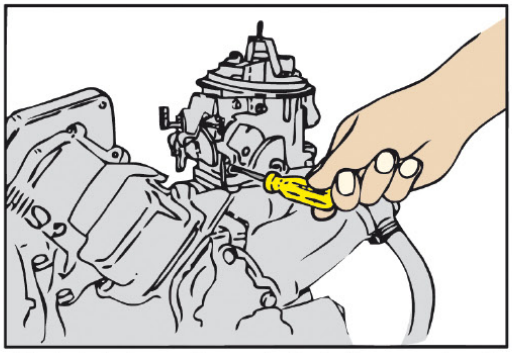


Figura 13.56. *Reacciones que intervienen en el sistema SCR húmedo.*

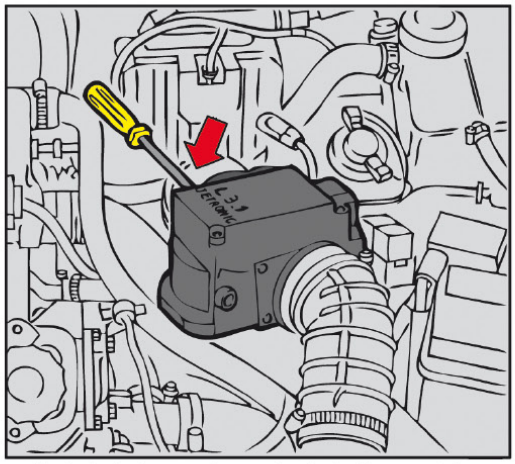
© Ediciones Paraninfo

Procedimiento de medida del porcentaje en volumen de CO





Ajuste de la riqueza de mezcla al ralentí en un carburador



Ajuste de la riqueza de mezcla al ralentí en un sistema de inyección electrónica multipunto

Figura 13.57. *Medición del % vol CO.*

– **Señal débil:** la amplitud de la señal de la sonda lambda dañada es inferior a la de una sonda nueva, la unidad de control no puede conocer la proporción de mezcla con la que está trabajando el motor. Normalmente, el sistema de gestión entra en un modo de emergencia, enriqueciendo la mezcla para asegurar un rendimiento mínimo del motor y evitar un excesivo calentamiento.
– **Señal lenta:** la señal de una sonda lambda defectuosa suele tener un período mayor, aumentando el tiempo de respuesta. Esto también hace que la unidad de control no ajuste la proporción de mezcla correctamente.

La Figura 13.58 muestra una señal débil y una señal lenta de una sonda lambda defectuosa y algunos ejemplos de averías en la misma.

Una sonda lambda envejecida o defectuosa puede generar una señal débil y lenta a la vez, teniendo como consecuencia un aumento del consumo de combustible, un funcionamiento incorrecto del catalizador y un incremento de las emisiones contaminantes.

Para comprobar el estado del catalizador con un analizador de gases, es necesario que el motor funcione correctamente, la línea de escape debe estar perfectamente hermética, el motor tiene que haber alcanzado la temperatura de régimen y deben permanecer desconectados todos los sistemas auxiliares (electroventilador, aire acondicionado, consumidores eléctricos...). En el caso concreto de los vehículos con catalizador, la medida se hace manteniendo el motor acelerado en vacío a unas 2500 rpm. Un catalizador de tres vías con regulación lambda se puede considerar correcto si el factor λ está comprendido entre 0,99 y 1,01, el porcentaje de CO en volumen es inferior al 0,2 %, los HC no superan las 50 ppm (partes por millón), el porcentaje en volumen de CO_2 se sitúa entre el 15 y el 17 % y el porcentaje en volumen de O_2 es menor del 0,2 %. Algunos analizadores de gases tienen también la posibilidad de medir la concentración de NO_X en partes por millón. En función de la composición de gases de escape se puede hacer un diagnóstico del sistema. A continuación se explican algunos casos como referencia:

© Ediciones Paraninfo

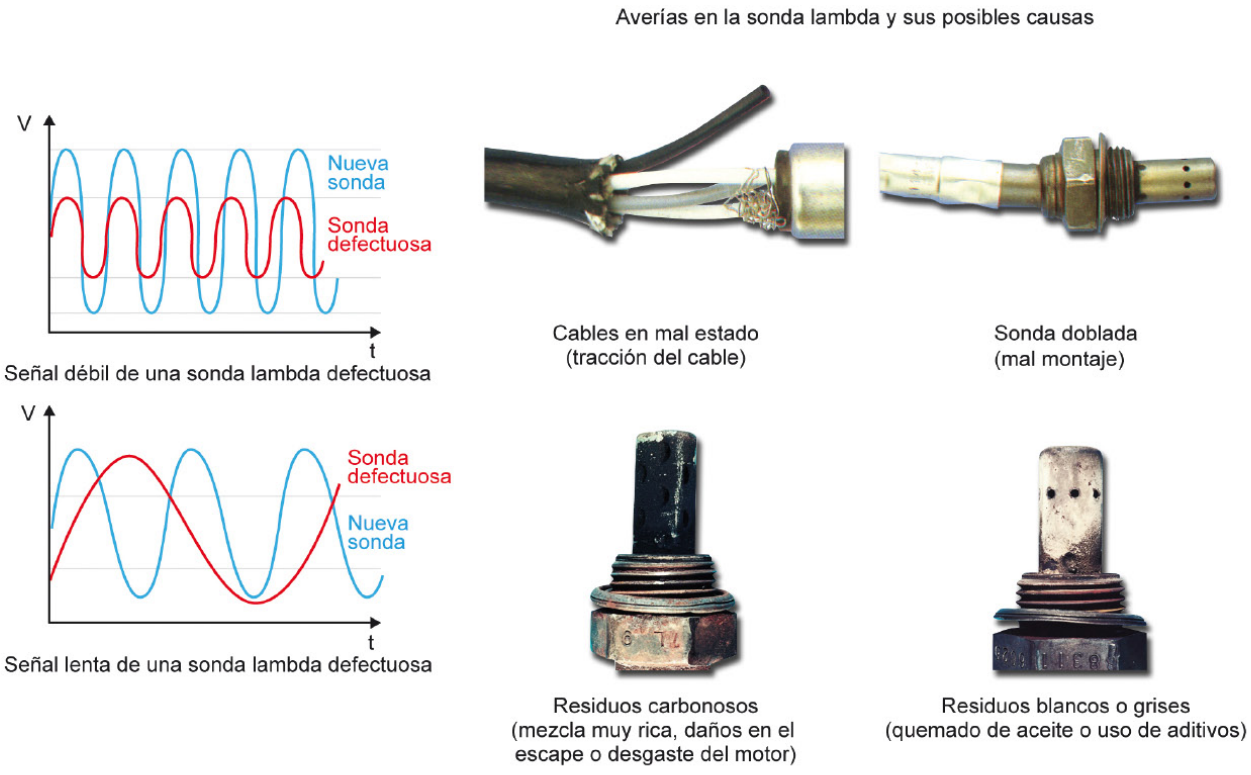


Figura 13.58. *Señal débil y señal lenta de una sonda lambda defectuosa y algunos ejemplos de averías en la misma.*

– **Valores de CO y HC inferiores a lo normal y de O_2 y λ superiores:** significa que el motor está trabajando con mezcla pobre. La avería puede ser de la sonda lambda, de la unidad de control, de algún parámetro de entrada del sistema o de una mala regulación de la presión de gasolina.

– **Valores de CO, HC y O_2 superiores a lo normal y factor λ correcto:** esto suele indicar que el catalizador está envejecido.

– **Valores de CO y HC superiores a lo normal y de O_2 y λ inferiores:** significa que el motor está funcionando con mezcla rica, pudiendo estar el fallo en la sonda lambda, la unidad de control, en algún sensor de información o en la regulación de la presión de gasolina.

Las averías más frecuentes del catalizador de tres vías con regulación lambda se enumeran a continuación:

– **Envejecimiento:** con el paso del tiempo, los metales preciosos que actúan como sustancias catalizadoras se desplazan y disminuye la superficie de contacto con los gases de escape, reduciendo la eficiencia del catalizador.

– **Inactivación por plomo:** aunque ya se ha eliminado de las gasolinas, cubre las sustancias catalizadoras evitando el contacto de estas con los gases de escape. A modo de referencia, un depósito de gasolina con plomo es suficiente para inactivar el catalizador.

– **Consumo de aceite:** un consumo de aceite excesivo puede obstruir el catalizador y disminuir su eficiencia.

– **Fusión del monolito:** esto puede ocurrir a partir de unos 1400 °C, temperatura que se alcanza por funcionar con mezclas muy pobres, una mala puesta a punto del encendido o una elevada tasa de HC no quemados en el motor que lo hacen en el catalizador.

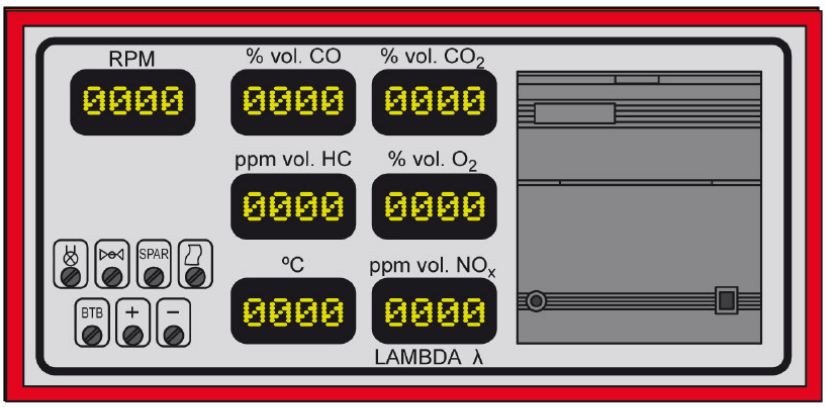
– **Roturas:** si la carcasa sufre algún golpe, es posible que el monolito se fisure.

El analizador de gases múltiples puede ser empleado en cualquier tipo de motor. La Figura 13.59 muestra el aspecto de un analizador de gases múltiples convencional y algunos valores de referencia de la composición de gases de escape para diferentes motores.

Sabías que...

Algunos motores incorporan una toma de gases de escape antes del catalizador para analizarlos antes y después de su paso por este.

© Ediciones Paraninfo



VALORES NORMALES DE EMISIONES CONTAMINANTES EN VEHÍCULOS CON CATALIZADOR					
Catalizador	CO [% vol]	HC [ppm vol]	CO_2 [% vol]	O_2 [% vol]	λ
2 vías	< 0,2	< 50	> 12	< 0,2	> 1,01
3 vías sin regulación	< 0,2	< 50	> 12	< 1	0,99 - 1,01
3 vías con regulación λ	< 0,2	< 50	> 15	< 0,2	0,99 - 1,01

Figura 13.59. *Aspecto de un analizador de gases múltiples convencional y algunos valores de referencia de la composición de gases de escape para diferentes motores.*

- **Diagnóstico de los gases de escape en motores diésel:** para determinar si la combustión de un motor diésel es correcta se emplea un dispositivo llamado opacímetro, que mide la opacidad de los gases de escape. Este aparato calcula la cantidad de combustible no quemado que se expulsa por el tubo de escape en forma de partículas carbonosas. Estas partículas son las que originan el humo negro típico de un motor diésel. El opacímetro mide el coeficiente de absorción luminosa de los gases de escape, conocido como valor K, que se expresa en m^{-1}. Otro valor que puede ofrecer es el valor de ennegrecimiento de los gases, conocido como valor N, que se expresa con respecto a una escala de 0 a 10, en porcentaje. Para iniciar el procedimiento de medida, representado en la Figura 13.60, el motor debe funcionar correctamente, la línea de escape no ha de presentar fugas, el aceite se encontrará en el nivel correcto y el motor habrá alcanzado su temperatura de régimen. Posteriormente se introduce la sonda del opacímetro y se realizan una serie de aceleraciones en vacío, desde ralentí hasta el corte de inyección, de forma lenta y progresiva, con el fin de limpiar la línea de escape. Después se lleva a cabo la prueba en sí, que consiste en acelerar a plena carga desde ralentí hasta el corte de inyección, durante unos dos segundos, registrando esta medida en el opacímetro. El valor observado debe estar comprendido entre los límites marcados por la ley para cada tipo de vehículo. Los opacímetros pueden ser analógicos o digitales.

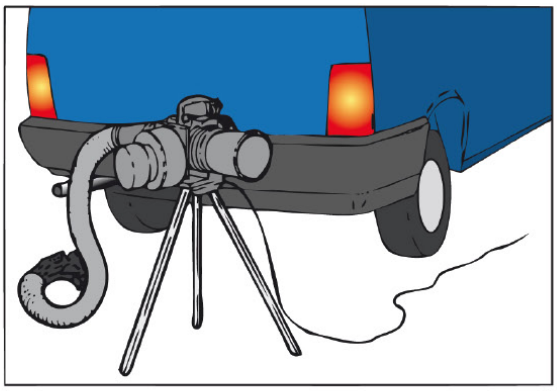
Los opacímetros actuales permiten programar el procedimiento de medida, en cuanto a los ciclos de limpieza a realizar, el número de medidas a tomar y el tiempo de cada operación.

13.13. El diagnóstico de a bordo

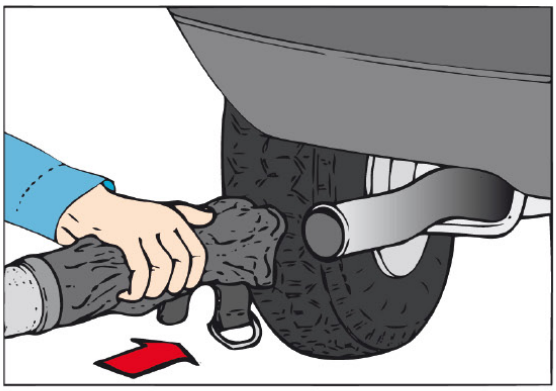
El diagnóstico de a bordo es un sistema que vigila constantemente si existe alguna avería que pueda influir en las emisiones contaminantes del vehículo. Existen dos versiones de diagnóstico de a bordo, que son el sistema OBD (*On Board Diagnosis*), que surge y se aplica en Estados Unidos, y el EOBD (*Euro On Board Diagnosis*), que se aplica en Europa.

- **El sistema OBD:** la autoridad competente en California dedicada al mantenimiento de la pureza del aire CARB (*California Air Resources Board*), lleva desde el año 1970 emitiendo especificaciones legales para disminuir la contaminación atmosférica. Gracias a ello, surge el OBD I, que conllevaba la implantación de un sistema

© Ediciones Paraninfo

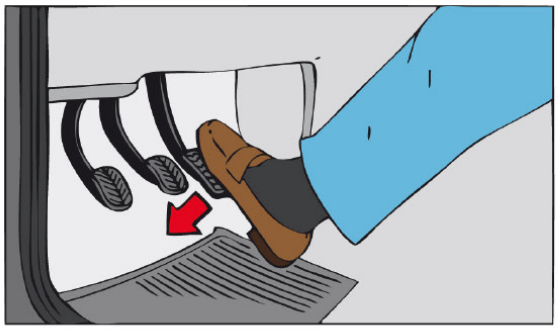


Opacímetro



Instalación de la sonda del opacímetro

Opacímetro analógico



Aceleración a plena carga para la medida

Figura 13.60. *Procedimiento de medida de la opacidad de los gases de escape en un motor diésel.*

de diagnóstico de a bordo en todos los vehículos nuevos fabricados a partir del año 1991. El OBD I vigila la funcionalidad de los sensores y actuadores basándose en la medición de las caídas de tensión en cada componente, como por ejemplo cortocircuito a masa, cortocircuito a positivo o interrupción de una línea de corriente. El vehículo debe disponer de un testigo de mal funcionamiento MIL (*Malfunction Indicator Light*), que se enciende para alertar al conductor de cualquier fallo detectado. Por otro lado, los códigos de diagnóstico deben ser almacenados para identificar las áreas relacionadas con el fallo. Los sistemas OBD I no detectan algunos problemas relativos a la emisión de gases, como por ejemplo una avería en el catalizador. Es posible que el testigo MIL se encienda tras un cierto tiempo en el que el vehículo ha estado emitiendo un exceso de sustancias nocivas. Por otro lado, puede que no se encienda, ya que hay determinados fallos que no puede detectar.

El sistema OBD II: tras la implantación del sistema OBD I surgió una directriz que obligaba a ampliarlo, apareciendo el OBD II. El OBD II empezó a ser obligatorio para vehículos nuevos de gasolina a partir de año 1996 y para vehículos diésel a partir de 1997. El sistema ODB II realiza las mismas funciones de vigilancia que el sistema OBD I, pero además monitoriza:

- El funcionamiento de los componentes que tienen importancia para los gases de escape, así como la coherencia de sus señales.
- El funcionamiento de sistemas completos.
- El área de tracción.

La tabla de la Figura 13.61 muestra los objetivos del sistema OBD II y los componentes y sistemas que vigila, tanto en motores de gasolina como diésel.

- **El sistema EOBD:** es una adaptación del sistema OBD II a las normativas anticontaminación que rigen en la Unión Europea. El 13 de octubre de 1998 la Unión Europea aprobó la directriz UE 98/69/CE, por la que se establece la implantación obligatoria del sistema EOBD para todos los países miembros. Alemania, por su parte, transformó esta directriz en una normativa jurídica nacional. La implantación del sistema EOBD no tiene relación directa con las normativas referentes a los gases de escape, como por ejemplo las normas EURO. A partir del 1 de enero de 2000, es necesario que todos los vehículos nuevos con motor de gasolina dispongan de sistema EOBD

© Ediciones Paraninfo

OBJETIVOS DEL SISTEMA OBD II	VIGILANCIA DE COMPONENTES Y SISTEMAS	
	EN MOTORES DE GASOLINA	EN MOTORES DIÉSEL
Vigilar todos los componentes importantes para la calidad de los gases de escape. Proteger el catalizador ante un posible peligro del mismo. Avisar visualmente al conductor de si hay componentes relacionados con los gases de escape que presentan fallos en su funcionamiento. Memorizar averías. Posibilitar el diagnóstico.	Catalizador. Sondas lambda. Fallos de combustión. Sistema de aire secundario. Sistema EGR. Sistemas de desaireación del depósito con prueba de fugas. Sistema de distribución del combustible. CAN-Bus. Sensores y actuadores relacionados con las emisiones de gases de escape, conectados a la unidad de control. Cambio automático.	Fallos en la combustión. Sistema EGR. Regulación del comienzo de la inyección. Regulación de la presión de sobrealimentación. CAN-Bus. Unidad de control para sistemas de inyección directa. Sensores y actuadores relacionados con las emisiones de gases de escape, conectados a la unidad de control. Cambio automático.

Figura 13.61. *Objetivos del sistema OBD II y los componentes y sistemas que vigila, tanto en motores de gasolina como diésel.*

para su homologación. Los vehículos nuevos con motor diésel deben disponer de sistema EOBD para su homologación a partir del 1 de enero de 2003.

La Figura 13.62 representa cronológicamente la implantación de los sistemas OBD I, OBD II y EOBD.

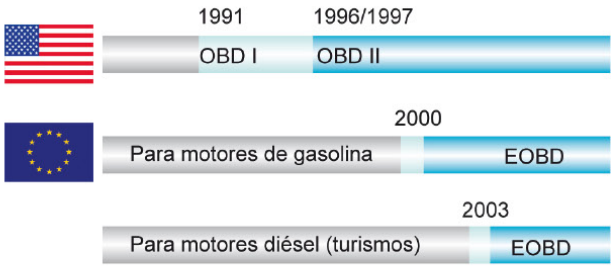


Figura 13.62. *Representación cronológica de la implantación de los sistemas OBD I, OBD II y EOBD.*

Los objetivos del sistema EOBD son similares a los del sistema OBD II, aunque puede haber diferencias en los componentes y sistemas que debe vigilar. Los fabricantes, por su parte, también pueden añadir funciones de vigilancia además de las prescritas para cada normativa.

Para conseguir llevar a cabo el diagnóstico de a bordo de una forma estandarizada, es necesario lo siguiente:

- **Un terminal de diagnóstico normalizado en una zona cercana al puesto de conducción:** como el mostrado en la Figura 13.63, donde está definida su forma y la ubicación de los pines.
- **Unos códigos de avería estandarizados para todos los fabricantes:** los códigos de diagnóstico de averías o DTC (*Data Trouble Codes*) orientan en la detección de fallos. La Sociedad Americana de Ingenieros (SAE) publicó en la norma J2012 el formato estándar de los códigos de diagnóstico. De esta forma, los escáneres genéricos pueden acceder a cualquier sistema. El código de avería consta de un valor alfanumérico de cinco dígitos con la siguiente estructura:
  - **Primer dígito:** designado siempre por una letra:
    - » Pxxxx para el área del grupo motopropulsor.
    - » Bxxxx para el área de carrocería.
    - » Cxxxx para el área del tren de rodaje.
    - » Uxxxx para sistemas futuros y comunicación en red.

Sabías que...

La letra P en el primer dígito viene de Powertrain, que significa tren de potencia o grupo motopropulsor.

© Ediciones Paraninfo

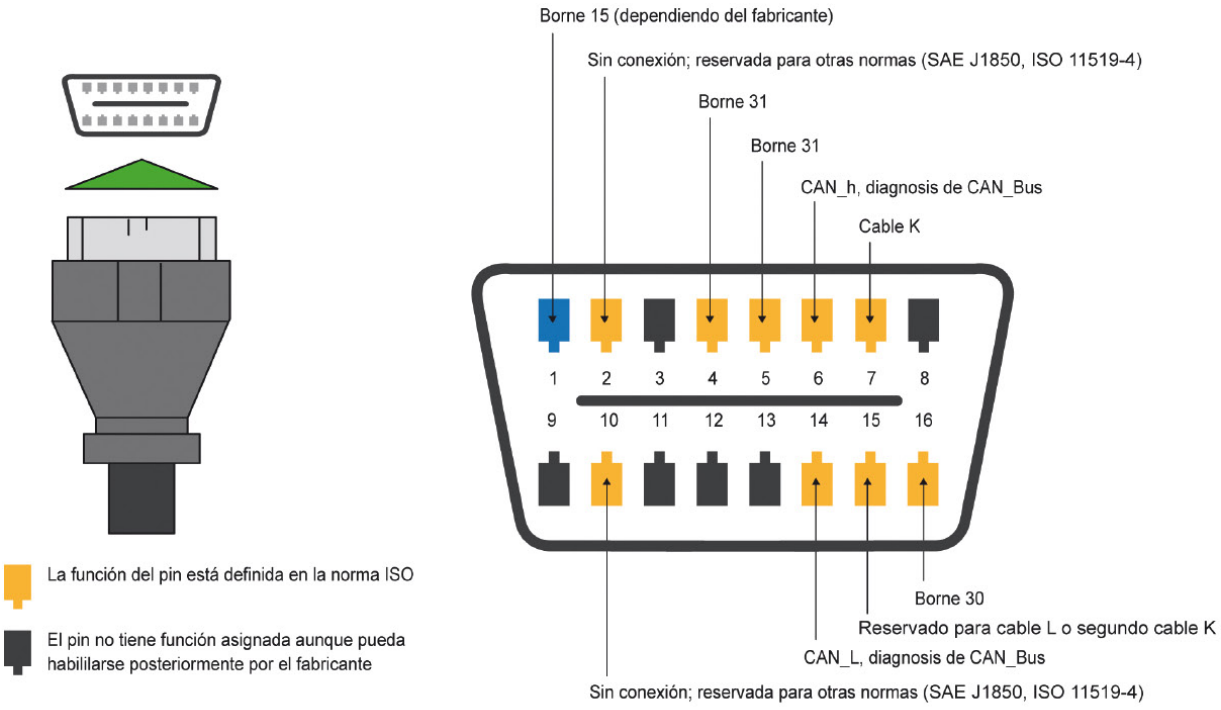


Figura 13.63. *Terminal de diagnóstico normalizado.*

– **Segundo dígito:** identifica el código de la norma:
  » P0xxx para códigos de avería definidos por la norma SAE, que pueden ser visualizados por sistemas de diagnóstico universales y que tienen textos descriptivos específicos. Una ampliación de estos códigos son los de tipo P2xxx.
  » P1xxx para códigos de avería definidos por el fabricante, que no tienen textos descriptivos específicos, aunque pueden ser conocidos por la autoridad competente. Una ampliación de estos códigos son los que tienen una estructura P3xxx.
– **Tercer dígito:** informa sobre el sistema o componente en el que se presenta la avería:
  » Px1xx: medición de combustible y aire.
  » Px2xx: medición de combustible y aire.
  » Px3xx: sistema de encendido.
  » Px4xx: regulación suplementaria de los gases de escape (control de emisiones adicional).
  » Px5xx: regulación de la velocidad y del ralentí.
  » Px6xx: señales de la unidad de control y señales de salida.
  » Px7xx: transmisión.
  » Px8xx: transmisión.
  » Px9xx: módulos de control, señales de entrada y salida.
– **Cuarto y quinto dígitos:** sirven para identificar los componentes y el sistema.

Un ejemplo de código de avería es el P0131, que pertenece al área del grupo motopropulsor, está definido por la norma SAE, se refiere a la medición del combustible y aire y el componente involucrado es el sensor de oxígeno antes del catalizador, que tiene su señal cortocircuitada a masa.

- **Poder visualizar las averías a través de un escáner universal para diagnóstico disponible en el mercado:** la legislación exige que el sistema de diagnóstico de a bordo permita que sus datos puedan ser consultados por cualquier equipo de lectura genérico para OBD (*OBD Generic Scan Tool*). Las averías memorizadas se pueden consultar por medio de este dispositivo, que se conecta a una terminal de diagnóstico accesible desde el asiento del conductor. El documento J1978 de la SAE describe los requerimientos mínimos para un escáner de OBD II. Los fabricantes de estos dispositivos pueden añadir funciones complementarias, pero los requerimientos básicos han de ser:
  – Detección automática de la interfaz de comunicación usada.
  – Detección automática y exhibición de la disponibilidad de información sobre inspección y mantenimiento.

© Ediciones Paraninfo

– Exhibición de los códigos de diagnóstico relacionados con las emisiones, con los datos en curso, con el congelado de datos y con la información del sensor de oxígeno.

– Posibilidad de borrado de los códigos de avería (DTC), de los datos congelados y del estado de las pruebas de diagnóstico.

La Figura 13.64 muestra un ejemplo de escáner para OBD.

Figura 13.64. *Ejemplo de escáner para OBD.*

En el escáner para OBD se debe poder visualizar las condiciones operativas en las que apareció el fallo.

- **Definir el momento y forma en el que ha de visualizarse un fallo relacionado con los gases de escape:** esto se hace a través del testigo de avería de los gases de escape MIL (*Malfunction Indicator Light*). El funcionamiento puede diferir entre el sistema OBD II y EOBD. Generalmente, el modo de operar es el que se indica a continuación:

  – **En el sistema OBD II:** si se presentan fallos que puedan dañar el catalizador, el testigo de aviso de gases de escape (MIL) se ilumina de forma intermitente, con una frecuencia de una vez por segundo. Si el fallo provoca que se superen 1,5 veces las emisiones contaminantes indicadas por la norma, durante el primer ciclo de conducción, se apaga el testigo y se inscribe el fallo en la memoria de averías. Si el fallo persiste tras el segundo ciclo de conducción, el testigo se ilumina de forma continua. La Figura 13.65 representa esquemáticamente este proceso.

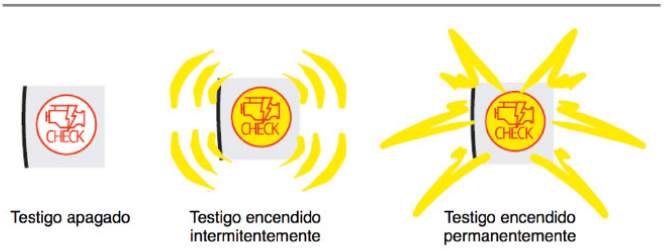


Figura 13.65. *Representación esquemática del proceso de iluminación del testigo MIL en el sistema OBD II.*

Un ciclo de conducción o *driving cycle* se compone del arranque del motor, ejecución de una función de diagnóstico prefijada y la parada del motor.

– **En el sistema EOBD:** al activar el contacto, el testigo MIL debe iluminarse, apagándose tras arrancar el motor si no hay inscrita ninguna memoria de avería. Si se detecta algún fallo que pueda afectar a la composición de los gases de escape, el testigo se ilumina de forma permanente y el sistema tiene un cuentakilómetros que mide la distancia recorrida desde que se encendió el testigo. El testigo MIL se ilumina si el sistema detecta el mismo fallo importante para la composición de los gases de escape durante 2 o 3 ciclos de calentamiento. Se apaga si el sistema deja de observar el fallo tras 4 ciclos de calentamiento. No obstante, la avería sigue memorizada. Si se realizan 40 ciclos de calentamiento y no se reproduce el fallo, se borra la memoria de la avería, la distancia recorrida desde la incidencia y los datos de entorno del fallo. La Figura 13.66 muestra esquemáticamente este proceso. El cuentakilómetros interno del sistema se pone a cero cuando se borra la memoria de averías, tras 40 ciclos de calentamiento sin fallo o después de apagarse el testigo pasados cuatro ciclos sin fallo y se vuelve a encender porque resurge.

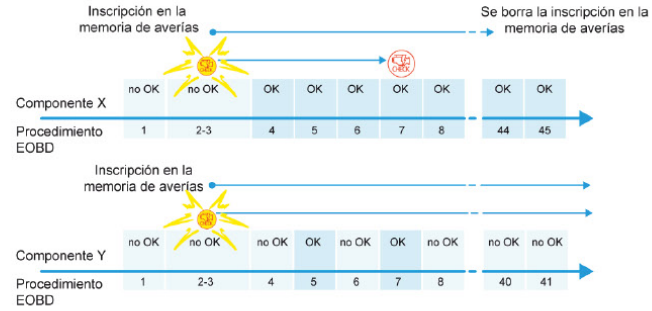


Figura 13.66. *Representación esquemática del proceso de iluminación del testigo MIL en el sistema EOBD.*

© Ediciones Paraninfo

Un ciclo de calentamiento o *warm-up cycle* (WUP) consiste en un ciclo de conducción en el que la temperatura del motor se ha incrementado como mínimo 23 °C y ha alcanzado al menos 70 °C.

Los datos del entorno del fallo o encuadre congelado (*Freeze-Frame*) son un conjunto de valores donde se registran las condiciones operativas del motor en la que se produjo el fallo.

Recuerda que...

Las condiciones en las que se enciende el testigo MIL y sus posibles niveles de importancia, ya sea con la activación continua o intermitente, deben consultarse para cada vehículo concreto en la documentación técnica.

- **Normalizar las denominaciones y abreviaturas de componentes y sistemas:** dada la aparición de numerosas normas sobre la emisión de gases de escape, ha sido necesario incorporar una gran cantidad de componentes y sistemas al motor. Para facilitar el diagnóstico y la reparación de averías, en 1991 la SAE publicó un listado de términos, definiciones, abreviaturas y acrónimos de componentes y sistemas susceptibles de diagnóstico. La publicación resultante es la J1930 y hace referencia a:
  - Manuales de reparación, servicio y diagnóstico.
  - Boletines y actualizaciones.
  - Manuales de entrenamiento.
  - Bases de datos de reparaciones.
  - Clasificación de las emisiones del motor.
  - Aplicaciones de certificados de emisiones.

A continuación se exponen los componentes y sistemas más importantes que vigila el OBD II y el EOBD, tanto para motores de gasolina como para motores diésel.

- **Vigilancia de motores de gasolina:**
  - **Catalizador:** el sistema calcula el envejecimiento del catalizador comparando las señales de las sondas lambda instaladas antes y después del catalizador.
  - **Sonda lambda:** el funcionamiento de las sondas lambda puede ser verificado observando el tiempo de respuesta y los valores de tensión entre los cuales oscila. En el caso de la sonda lambda de banda ancha, hay que observar si esta es capaz de seguir la modulación de la mezcla de gasolina, que varía constantemente de rica a pobre, como muestra la Figura 13.67. El sistema convierte la señal de intensidad de la sonda lambda de banda ancha en una señal de tensión.
  - **Fallos de combustión:** el sistema puede detectar fallos en la combustión con ayuda de las marcas de referencia del volante de inercia y el sensor de fase. De esta forma, identifica en qué cilindro se está produciendo el fallo, lo inscribe en la memoria de averías e ilumina el testigo MIL. La Figura 13.68 representa el proceso de detección de fallo en la combustión.

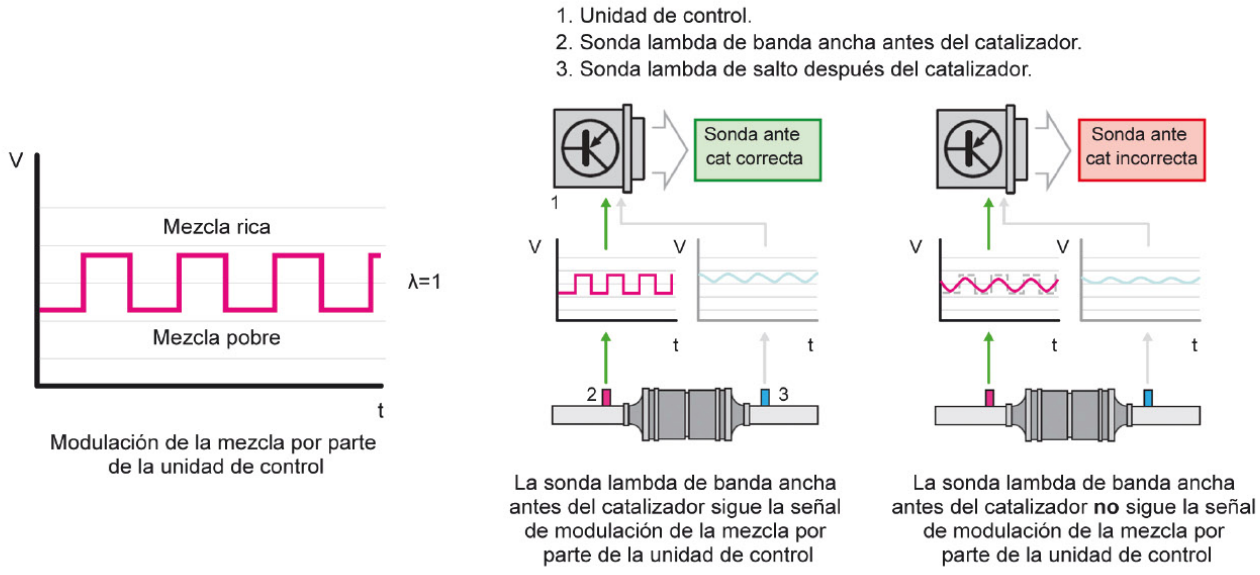


Figura 13.67. *Vigilancia del funcionamiento de la sonda lambda de banda ancha.*

© Ediciones Paraninfo

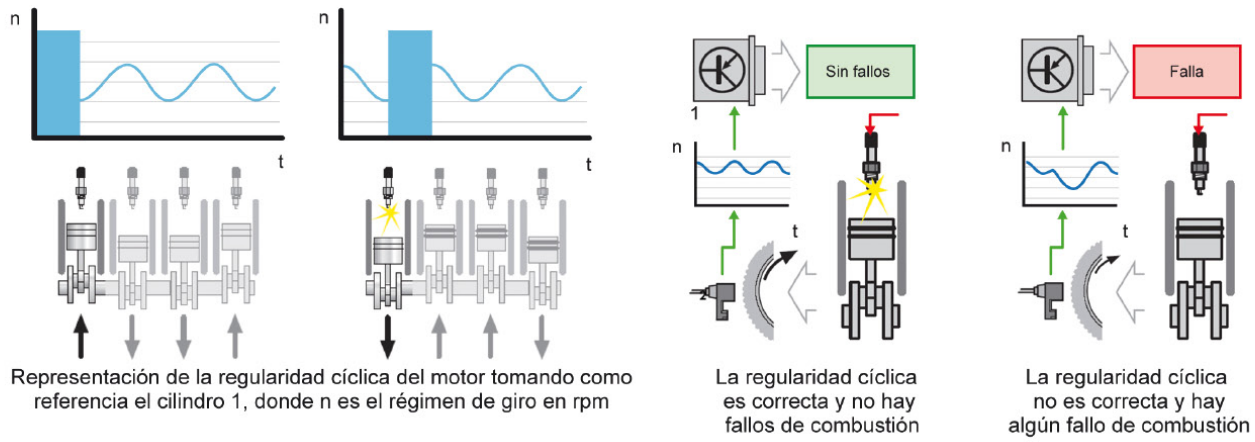


Figura 13.68. *Vigilancia de fallos en la combustión.*

- **Regulación de la presión de sobrealimentación:** el sistema monitoriza la presión de soplado para comprobar si supera el límite prescrito.
- **Sistema de aire secundario:** para realizar la comprobación, la sonda lambda, ya sea de salto o de banda ancha, debe informar a la unidad de control de la existencia de una mezcla pobre mientras el sistema de aire secundario esté en funcionamiento.
- **Sistema EGR:** en los motores de gasolina, esta vigilancia se hace a través del sensor de presión absoluta en el colector de admisión, que debe detectar un aumento de la presión en el mismo durante la recirculación de gases de escape. El diagnóstico se suele hacer durante la deceleración, ya que se interrumpe la inyección, que podría alterar la medición.
- **Sistema de reciclaje de vapores de gasolina del depósito de combustible con prueba de fugas:** el sistema puede comprobar el correcto reciclado de los vapores de gasolina a través de dos métodos. El primero consiste en detectar por medio de la sonda lambda un pequeño enriquecimiento de la mezcla cuando se activa el sistema de desaireación. El segundo método implica la activación cíclica de la electroválvula del cánister, con una modulación ya programada, y la observación de la variación de presión en el colector de admisión bajo estas circunstancias, a través del sensor MAP. El protocolo OBD II obliga a controlar si existen fugas de vapores de gasolina. Para ello, bajo ciertas condiciones, desacopla la electroválvula del cánister y pone en funcionamiento una bomba eléctrica de diagnóstico, que genera una presión determinada. En función del tiempo que tarda en disminuir la presión del depósito, se puede estimar si existen fugas y su importancia.
- **CAN-Bus:** el sistema conoce todos los componentes que están conectados a la red CAN-Bus. Si se detecta que uno de ellos no puede transmitir información, se memoriza la avería, como puede verse esquemáticamente en la Figura 13.69.
- **Otros sensores y señales:** existen otros dispositivos que pueden ser vigilados, como por ejemplo el conjunto del acelerador electrónico, el sensor de régimen de giro, el sensor de temperatura del líquido refrigerante, el medidor de la masa de aire, el sensor de velocidad…

• **Vigilancia de motores diésel:**

- **Fallos en la combustión:** la vigilancia se realiza de la misma forma que en los motores de gasolina, explorando las marcas practicadas en el volante de inercia y la fase. La fase, dependiendo del sistema, puede ser tomada de un sensor de fase o a través del sensor de carrera de la aguja, que va instalado en uno de los inyectores.
- **Sistema EGR:** en el caso de los motores diésel, esta comprobación se realiza a través del medidor de la masa de aire. El sistema funciona correctamente si durante la recirculación de los gases de escape, la masa de aire admitida disminuye con respecto a la fase en la que no se produce recirculación, como indica esquemáticamente la Figura 13.70.
- **Regulación del comienzo de la inyección:** dependiendo del sistema, la regulación del comienzo de la inyección puede variar. En los motores con bomba de inyección rotativa se toma la información del sensor de carrera de la aguja. En los motores con activación electrónica de los inyectores, la información se toma a partir de la señal de corriente de alimentación a los inyectores.
- **Regulación de la presión de sobrealimentación:** se realiza de forma similar a los motores de gasolina.

© Ediciones Paraninfo

1. Unidad de control del motor.
2. CAN-Bus de datos.
A, B y C. Unidades conectadas a la red CAN-Bus.

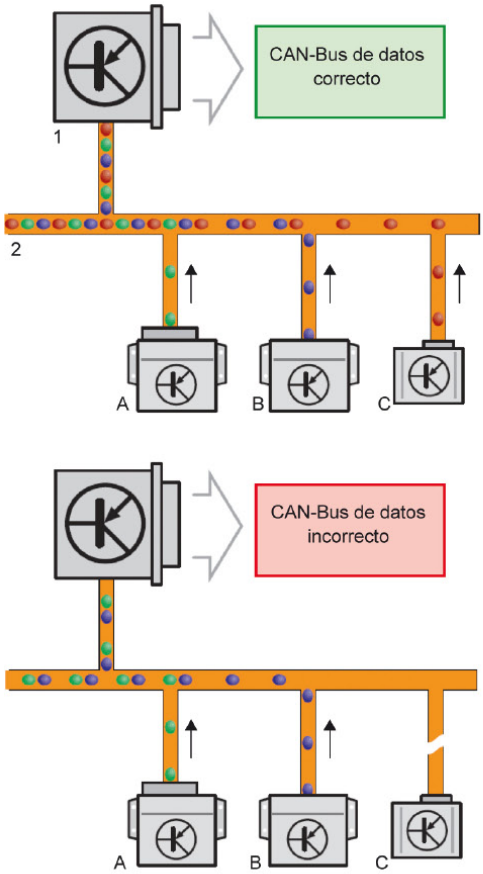


Figura 13.69. *Vigilancia del CAN-Bus.*

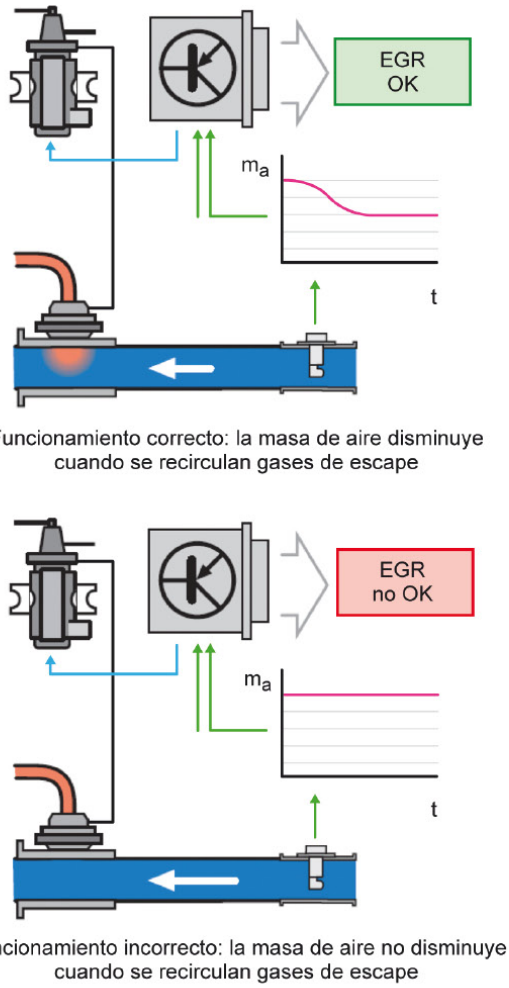


Figura 13.70. *Vigilancia del sistema EGR en un motor diésel.*

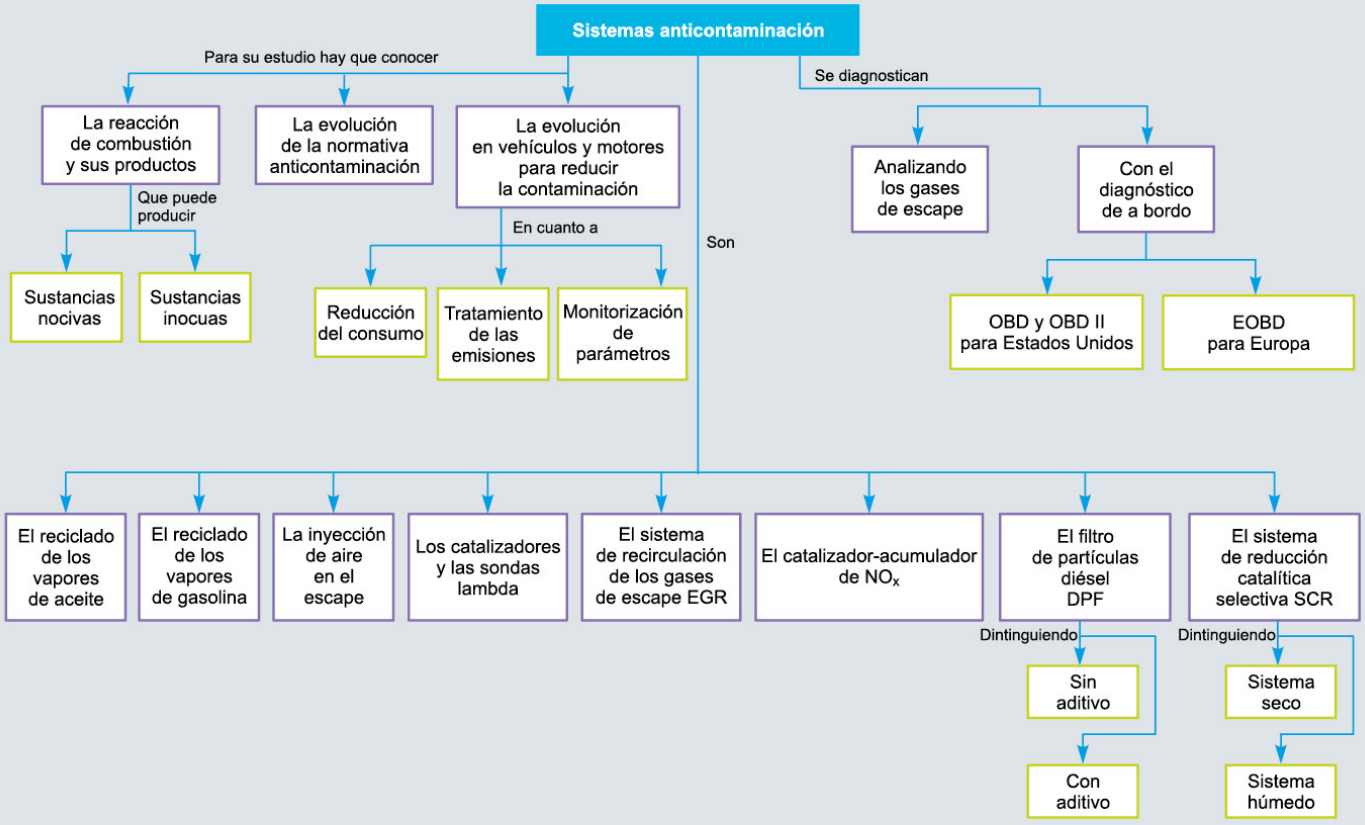
– **CAN-Bus:** se realiza de forma similar a los motores de gasolina.

– **Otros sensores y señales:** existen otros elementos susceptibles de ser vigilados, como el medidor de la masa de aire, la unidad de control del sistema de precalentamiento y otros similares a los que emplean los motores de gasolina.

Recuerda que...

A medida que se han ido implantando nuevas tecnologías, en el diagnóstico de a bordo se han implementado nuevos protocolos de vigilancia, como por ejemplo para el filtro de partículas diésel DPF o el sistema de reducción catalítica selectiva SCR.

© Ediciones Paraninfo



© Ediciones Paraninfo

COMPRUEBA

13.1. ¿Cuál de las siguientes sustancias presentes en los gases de escape es inocua?

a) HC.

b) MP.

c) N_2.

d) NO_X.

13.2. En un catalizador de tres vías:

a) Los HC y el CO se oxidan y los NO_X se reducen.

b) Los NO_X y el CO se oxidan y los HC se reducen.

c) Los HC y los NO_X se oxidan y el CO se reduce.

d) Los NO_X se oxidan y los HC y el CO se reducen.

13.3. Un valor de 200 mV ofrecido por una sonda lambda convencional significa que el motor trabaja con mezcla:

a) Rica.

b) Pobre.

c) Estequiométrica.

d) Depende del tipo de motor.

13.4. El sistema de recirculación de gases de escape EGR:

a) Se aplica solo en motores diésel.

b) Funciona siempre cuando el motor está a plena carga.

c) Se encarga de tratar los óxidos de azufre.

d) Ninguna de las anteriores.

13.5. Los valores máximos de emisiones de NO_X se producen con relaciones de mezcla:

a) $0{,}9 < \lambda < 0{,}95$.

b) $\lambda = 1$.

c) $1{,}05 < \lambda < 1{,}1$.

d) Depende del tipo de motor.

13.6. Durante la fase de regeneración activa del filtro de partícula diésel DPF, la temperatura de escape debe superar:

a) 350 °C.

b) 450 °C.

c) 600 °C.

d) 900 °C.

13.7. El sistema de reducción catalítica selectiva SCR de tipo seco incorpora:

a) Un catalizador de oxidación y un filtro de partículas diésel DPF.

b) Un catalizador-acumulador de NO_X.

c) Un catalizador SCR.

d) Todas las anteriores.

13.8. Un catalizador de tres vías que funciona correctamente debe presentar un valor de porcentaje en volumen de CO de:

a) Menos de 0,2.

b) Entre 15 y 17.

c) Más de 50.

d) Entre 0,99 y 1,01.

13.9. El sistema OBD II empezó a ser obligatorio para vehículos nuevos de gasolina a partir del año:

a) 1996.

b) 1997.

c) 2000.

d) 2003.

13.10. Un código de avería estandarizado DTC con la estructura P0xxx significa que:

a) El código pertenece al área de carrocería.

b) El código pertenece al área del tren de rodaje.

c) El código está definido por la norma SAE.

d) El código está definido por el fabricante.

REALIZA

13.11. Si en un catalizador de tres vías el valor pico a pico de la señal de la sonda lambda de regulación es de 0,80 y el de la sonda lambda de diagnóstico es de 0,15, calcular el rendimiento del catalizador.

13.12. Tomar cinco vehículos de diferentes años que estén disponibles en el taller y averiguar la norma anticontaminación que cumplen, así como los dispositivos que incorporan para cumplirla.

13.13. Buscar un vehículo que monte un motor de inyección directa de gasolina que pueda funcionar en modo estratificado y hacer un listado de los dispositivos anticontaminación que incorpora.

13.14. Encontrar un vehículo con motor diésel de última generación que lleve filtro de partículas. Analizar todos los sistemas anticontaminación que lleve instalados, encontrar el testigo de filtro de partí-

© Ediciones Paraninfo

culas en el cuadro de instrumentos y mirar en el manual de usuario las indicaciones en caso de encendido de dicho testigo.

13.15. Tomar un vehículo que disponga de sistema EOBD. Conectar un equipo de lectura genérico para OBD (*OBD Generic Scan Tool*) y realizar una lectura de los posibles códigos de fallo. Provocar una avería desconectando algún sensor que intervenga en las emisiones de escape y comprobar que se registra el fallo y se identifica el área o el componente.

© Ediciones Paraninfo

Prevención de riesgos laborales y protección ambiental

14

CONTENIDOS

14.1. Introducción a la prevención de riesgos laborales y a la protección ambiental
14.2. Riesgos inherentes a los procesos de mantenimiento y reparación de motores
14.3. Prevención y protección colectiva
14.4. Equipos de protección individual
14.5. Señalización de seguridad en el taller
14.6. Fichas de seguridad
14.7. Gestión medioambiental
14.8. Almacenamiento y retirada de residuos

OBJETIVOS

- Definir los conceptos fundamentales en materia de protección de riesgos laborales y de protección ambiental.
- Comprender los riesgos propios de los procesos de mantenimiento y reparación de los motores de automoción.
- Analizar los diferentes medios de protección colectiva e individual, así como su aplicación.
- Conocer la señalización de seguridad que se puede encontrar en un taller.
- Asimilar la necesidad de llevar a cabo una buena gestión medioambiental del taller en relación a los recursos, la contaminación y el almacenamiento y retirada de residuos.

En el sector de automoción están involucrados numerosos talleres e industrias auxiliares que pueden dar lugar a diversos riesgos laborales relacionados con las operaciones de fabricación, mantenimiento y reparación de los motores térmicos. Por otro lado, la industria automovilística genera gran cantidad de residuos, muchos de ellos peligrosos, que pueden afectar al medio ambiente.

En este capítulo se van a analizar los riesgos laborales que pueden darse en los trabajos relacionados con los motores térmicos y las medidas necesarias para prevenirlos. A continuación se darán las nociones básicas de gestión medioambiental en el taller, incluyendo las normas de almacenamiento y retirada de residuos peligrosos resultantes del mantenimiento y reparación de los motores de automoción.

14.1. Introducción a la prevención de riesgos laborales y a la protección ambiental

14.1.1. Prevención de riesgos laborales

El artículo 40.2 de la Constitución Española encomienda a los poderes públicos, como uno de los principios rectores de la política social y económica, velar por la seguridad e higiene en el trabajo.

Sabías que...

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) es el órgano científico técnico especializado de la Administración General del Estado que tiene como misión el análisis y estudio de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo, así como la promoción y apoyo a la mejora de las mismas, estableciendo la cooperación necesaria con los órganos de las Comunidades Autónomas con competencias en esta materia.

En los talleres de reparación de vehículos se realizan operaciones de trabajo muy diversas, como arreglar y sustituir toda clase de piezas, reconstruir componentes... Los riesgos laborales del sector de automoción tienen mucho que ver con:

- Las herramientas de trabajo y con las condiciones de seguridad de los locales: golpes y cortes, atrapamientos, caídas, contactos eléctricos, incendio, proyección de partículas…
- Con la exposición a contaminantes químicos y físicos: combustibles, disolventes, ruido…
- Con la ergonomía y la organización del trabajo: esfuerzos, fatiga física y mental, estrés…

La ley 31/1995 establece las siguientes definiciones relativas a la prevención de riesgos laborales:

- **Prevención:** conjunto de actividades o medidas adoptadas o previstas en todas las fases de actividad de la empresa con el fin de evitar o disminuir los riesgos derivados del trabajo.
- **Riesgo laboral:** posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado del trabajo. Para calificar su gravedad, se valorarán conjuntamente la probabilidad de que se produzca el daño y la severidad del mismo.
- **Daños derivados del trabajo:** enfermedades, patologías o lesiones sufridas con motivo u ocasión del trabajo.
- **Riesgo laboral grave e inminente:** aquel que resulte probable racionalmente que se materialice en un futuro inmediato y pueda suponer un daño grave para la salud de los trabajadores, aun cuando este no se manifieste de forma inmediata.
- **Procesos, actividades, operaciones, equipos o productos potencialmente peligrosos:** aquellos que, en ausencia de medidas preventivas específicas, originen riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores que los desarrollan o utilizan.
- **Equipo de trabajo:** cualquier máquina, aparato, instrumento o instalación utilizada en el trabajo.
- **Condición de trabajo:** cualquier característica del mismo que pueda tener una influencia significativa en la generación de riesgos para la seguridad y la salud del trabajador. Quedan específicamente incluidas en esta definición:
  - Las características generales de los locales, instalaciones, equipos, productos y demás útiles existentes en el centro de trabajo.
  - La naturaleza de los agentes físicos, químicos y biológicos presentes en el ambiente de trabajo y sus correspondientes intensidades, concentraciones o niveles de presencia.
  - Los procedimientos para la utilización de los agentes citados anteriormente que influyan en la generación de los riesgos mencionados.
  - Todas aquellas otras características del trabajo, incluidas las relativas a su organización y ordenación, que influyan en la magnitud de los riesgos a que esté expuesto el trabajador.

Sabías que...

Corresponde a la **Inspección de Trabajo y Seguridad Social** la función de la vigilancia y control de la normativa sobre prevención de riesgos laborales.

- **Equipo de protección individual (EPI):** cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud en el trabajo, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin.

El artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales establece los siguientes principios de la acción preventiva:

© Ediciones Paraninfo

- El empresario aplicará las medidas que integran el deber general de prevención previsto en el artículo anterior, con arreglo a los siguientes principios generales:
  - Evitar los riesgos.
  - Evaluar los riesgos que no se puedan evitar.
  - Combatir los riesgos en su origen.
  - Adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de los puestos de trabajo, así como a la elección de los equipos y los métodos de trabajo y de producción, con miras, en particular, a atenuar el trabajo monótono y repetitivo y a reducir los efectos del mismo en la salud.
  - Tener en cuenta la evolución de la técnica.
  - Sustituir lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún peligro.
  - Planificar la prevención, buscando un conjunto coherente que integre en ella la técnica, la organización del trabajo, las condiciones de trabajo, las relaciones sociales y la influencia de los factores ambientales en el trabajo.
  - Adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.
  - Dar las debidas instrucciones a los trabajadores.
- El empresario tomará en consideración las capacidades profesionales de los trabajadores en materia de seguridad y de salud en el momento de encomendarles las tareas.
- El empresario adoptará las medidas necesarias a fin de garantizar que solo los trabajadores que hayan recibido información suficiente y adecuada puedan acceder a las zonas de riesgo grave y específico.
- La efectividad de las medidas preventivas deberá prever las distracciones o imprudencias no temerarias que pudiera cometer el trabajador y los riesgos adicionales cuando su magnitud sea sustancialmente inferior a la de los que se pretende controlar y no existan alternativas más seguras.
- Podrán concertar operaciones de seguro que tengan como fin garantizar como ámbito de cobertura la previsión de riesgos derivados del trabajo, la empresa respecto de sus trabajadores, los trabajadores autónomos respecto a ellos mismos y las sociedades cooperativas respecto a sus socios cuya actividad consista en la prestación de su trabajo personal.

En el artículo 29 de la misma ley se establecen las siguientes obligaciones de los trabajadores en materia de prevención de riesgos:

- Corresponde a cada trabajador velar por su propia seguridad y salud en el trabajo y por la de aquellas otras personas a las que pueda afectar su actividad profesional, a causa de sus actos y omisiones en el trabajo, de conformidad con su formación y las instrucciones del empresario.

Recuerda que...

Corresponde al trabajador velar por su propia seguridad.

- Los trabajadores, con arreglo a su formación y siguiendo las instrucciones del empresario, deberán en particular:
  - Usar adecuadamente, de acuerdo con su naturaleza y los riesgos previsibles, las máquinas, aparatos, herramientas, sustancias peligrosas, equipos de transporte y, en general, cualesquiera otros medios con los que desarrollen su actividad.
  - Utilizar correctamente los medios y equipos de protección facilitados por el empresario, de acuerdo con las instrucciones recibidas de este.
  - No poner fuera de funcionamiento y utilizar correctamente los dispositivos de seguridad existentes o que se instalen en los medios relacionados con su actividad o en los lugares de trabajo en los que esta tenga lugar.
  - Informar de inmediato a su superior jerárquico directo, y a los trabajadores designados para realizar actividades de protección y de prevención o, en su caso, al servicio de prevención, acerca de cualquier situación que, a su juicio, entrañe, por motivos razonables, un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores.
  - Contribuir al cumplimiento de las obligaciones establecidas por la autoridad competente con el fin de proteger la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo.
  - Cooperar con el empresario para que este pueda garantizar unas condiciones de trabajo que sean seguras y no entrañen riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores.
- El incumplimiento por los trabajadores de las obligaciones en materia de prevención de riesgos a que se refieren los apartados anteriores tendrá la consideración de incumplimiento laboral a los efectos previstos en el artículo 58.1 del Estatuto de los Trabajadores o de falta, en su caso, conforme a lo establecido en la correspondiente normativa sobre régimen disciplinario de los funcionarios públicos o del personal estatutario al servicio de las Administraciones Públicas. Lo dispuesto en este apartado será igualmente aplicable a los socios de las cooperativas cuya actividad consista en la prestación de su trabajo, con las precisiones que se establezcan en sus Reglamentos de Régimen Interno.

La referencia normativa básica de la prevención de riesgos laborales en los procesos de mantenimiento y reparación de los motores de automoción es la siguiente:

© Ediciones Paraninfo

- La Constitución Española de 1978.
- El Estatuto de los Trabajadores.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre de prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 2291/1985, de 8 de noviembre, reglamento de aparatos de elevación y manutención.
- Real Decreto 1457/1986, de 10 de enero, regulador de la actividad industrial y la prestación de servicios en los talleres de reparación de vehículos, de sus equipos y componentes.
- Real Decreto 1495/1986, de 26 de mayo, reglamento de seguridad de máquinas.
- Real Decreto 1942/1993 de 5 de noviembre, reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, reglamento de los servicios de prevención.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, disposiciones mínimas de seguridad y salud relativos a la manipulación de cargas que entrañen riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

14.1.2. Protección ambiental

La industria automovilística tiene distribuidos multitud de talleres que generan un número importante de residuos. Si no se cuida la gestión medioambiental, pueden surgir vertidos de residuos peligrosos, contaminación atmosférica o emisión de ruidos.

La gestión ambiental de los distintos residuos y desechos que producen los talleres de reparación de vehículos está debidamente reglada. El cumplimiento o no de estas normas, depende de los responsables de los establecimientos, de los usuarios en general y de las Administraciones, teniendo como objetivo común velar, cuidar y proteger el medio ambiente.

Recuerda que...

El desarrollo sostenible satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.

Definiciones relativas a la protección ambiental:

- **Buenas prácticas ambientales:** actuaciones individuales, tanto en la actividad profesional como en otros ámbitos vitales, realizadas a partir de criterios de respeto hacia el medio ambiente.
- **Contaminación:** acción y efecto de introducir cualquier tipo de impureza, materia o influencias físicas (ruido, radiación, calor, vibraciones…), en un determinado medio y en niveles más altos de lo normal, que puede ocasionar un daño en el sistema ecológico, apartándolo de su equilibrio.
- **Desarrollo sostenible:** desarrollo que satisface las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.
- **Eficiencia energética:** capacidad de los equipos para conseguir el mayor rendimiento con el menor consumo posible.
- **Impacto ambiental:** efectos que una acción humana produce en el medio ambiente.
- **Residuo:** sustancia u objeto del cual su poseedor se desprende o tiene la obligación de desprenderse.
- **Punto limpio:** instalación para el depósito de residuos que no se gestionan a través del servicio municipal de recogida.
- **Reciclar:** transformar los residuos, dentro de un proceso productivo, para su fin inicial u otros fines.
- **Reutilizar:** usar de nuevo un producto sin necesidad de transformarlo.
- **Subproducto:** en cualquier proceso de fabricación, producto que se obtiene a partir del principal y que suele ser de menor valor que este, constituyendo una alternativa a la generación de residuos.
- **Valorización:** procedimiento que permite el aprovechamiento de la energía o materia contenida en los residuos.

La referencia normativa básica en materia de protección ambiental en los procesos de mantenimiento y reparación de los motores de automoción es la siguiente:

- Decreto 2414/61, de 30 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas.

© Ediciones Paraninfo

- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas.
- Reglamento (CE) 1980/2000 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de julio de 2000, relativo a un sistema comunitario revisado de concesión de etiqueta ecológica.
- Reglamento (CE) 761/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de marzo, por el que se permite que todas las organizaciones se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditorías medioambientales (EMAS).
- Real Decreto 1383/2002, de 20 de diciembre, sobre gestión de vehículos al final de su vida útil
- Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados.
- Real Decreto 795/2010, de 16 de junio, por el que se regula la comercialización y manipulación de gases fluorados y equipos basados en los mismos, así como la certificación de los profesionales que los utilizan.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

14.2. Riesgos inherentes a los procesos de mantenimiento y reparación de motores

Los procesos de mantenimiento y reparación de los motores de combustión interna conllevan ciertos riesgos, debidos al motor en sí, al manejo del vehículo y a la manipulación de la herramienta necesaria. Es importante recordar que en las operaciones que se lleven a cabo, se debe consultar el manual de taller del fabricante.

En la Tabla 14.1 se resumen los riesgos más comunes relativos a dichos procesos, así como las medidas más importantes para evitarlos.

TABLA 14.1

Riesgo	Medidas para evitarlo
Atropello (manejo de vehículos)	• Correcta señalización y coordinación en las maniobras.
Atrapamientos y golpes (correas, herramienta…)	• Tener cuidado de no poner en marcha el vehículo, y de tener que estar arrancado el motor, tomar las debidas precauciones. • Utilizar la herramienta y los EPI de forma adecuada.
Cortes o pinchazos (herramienta, piezas mecánicas…)	• Guardar las herramientas en fundas, utilizar herramientas con mangos adecuados. • Usar guantes o botas de seguridad.
Proyección de fragmentos (motor en marcha, máquinas herramienta, aire comprimido...)	• Tratar de hacer las operaciones con el motor parado. • Utilizar los EPI adecuados.
Caídas de altura (fosos)	• Señalizar correctamente los fosos y cerrarlos cuando no se utilicen.
Caídas en el mismo plano (líquidos u obstáculos en el suelo)	• Eliminar líquidos, suciedad y obstáculos del suelo. • Señalizar los obstáculos que no pueden ser retirados y tener una buena iluminación.
Caídas de objetos desde equipos de elevación y transporte (polipastos, gatos, elevadores…)	• Respetar los límites de carga de grúas y polipastos, empleando cadenas, cables o eslingas adecuados. • Fijar firmemente el cargamento y no situarse bajo cargas suspendidas.
Contactos eléctricos directos (sistema eléctrico del vehículo, red eléctrica…)	• Desconectar el borne negativo de la batería. • Cuando se utilice la tensión de la red no emplear aparatos eléctricos con las manos húmedas, y si hay alguna avería, que sea reparada por personal especializado.
Exposición al ruido (motor en marcha, máquinas herramienta…)	• Reducir el tiempo de exposición y parar el motor en cuanto sea posible. • Utilizar protectores auditivos adecuados.
Quemaduras (motor, soldadura…)	• Aislar térmicamente las superficies calientes y utilizar los EPI adecuados.
Contacto con sustancias químicas peligrosas (ácido sulfúrico, gasolina, disolventes…)	• Prestar atención a las fichas de seguridad y datos del fabricante. • Evitar el contacto directo con la piel usando guantes, paletas… • Utilizar los EPI adecuados. • Almacenar correctamente.

Continúa

© Ediciones Paraninfo

Riesgo	Medidas para evitarlo
Exposición a sustancias peligrosas (gases de escape)	• Tener una buena ventilación, instalando sistemas de extracción y filtrado si es preciso. • No respirar sustancias nocivas y utilizar los EPI para ello indicados.
Incendio (líquidos inflamables)	• Almacenamiento adecuado de las sustancias inflamables manteniéndolas lejos de focos de calor. • Correcta señalización y mantenimiento de los sistemas de extinción de incendios. • Establecimiento de un plan de emergencia y disposición de información sobre las vías de evacuación.
Explosión (líquidos inflamables, aire comprimido…)	• Prohibición de fumar. • Controlar la concentración de sustancias inflamables con sistemas de ventilación y extracción. • Mantener adecuadamente la instalación de aire comprimido.
Sobreesfuerzos por malas posturas (levantamiento de cargas)	• Utilizar medios de elevación y transporte auxiliares. • Formar a los trabajadores en técnicas de manipulación de cargas.
Malas condiciones ambientales (frío, calor, humedad…)	• Disponer de ropa adecuada. • Climatizar las instalaciones para conseguir un ambiente cómodo.
Iluminación inadecuada (zonas con poca luz o con exceso de luz)	• Adecuar la intensidad de luz a las condiciones de cada trabajo.
Estrés laboral (trabajos inesperados, jornadas no habituales)	• Realizar una buena planificación del trabajo. • Formar a los trabajadores.

Sabías que...

El marcado CE o de Conformidad Europea es una marca europea para ciertos grupos de servicios o productos industriales, apoyada en la directiva 93/68/EEC. Fue establecida por la Comunidad Europea y es el testimonio por parte del fabricante de que su producto cumple con los mínimos requisitos legales y técnicos en materia de seguridad de los Estados miembros de la Unión Europea. Entre los grupos de productos afectados por la marca CE están las máquinas.

14.3. Prevención y protección colectiva

Se define la protección colectiva como aquella que protege simultáneamente a varios trabajadores frente a una situación peligrosa determinada.

Las medidas de protección colectiva más importantes que se pueden adoptar en el caso de operaciones sobre motores térmicos son las siguientes:

- Mantener un buen sistema de **ventilación** en todo el local para facilitar la eliminación de los gases nocivos, debiendo dotar a todos los puestos de un sistema de extracción de los gases de escape.
- Mantener el **orden** y la **limpieza** a través de:
  - Una correcta señalización de los pasillos.
  - Orden de las herramientas.
  - Utilizar bancos de trabajo para el desmontaje y montaje de elementos mecánicos.
  - Emplear elevadores para realizar las operaciones de una manera más cómoda.
  - Métodos seguros de almacenamiento.
  - Retirada sistemática de los desechos, residuos y desperdicios.
  - Limpieza de suelos.
- Utilizar **cajas o carros porta-herramientas** para transportar las herramientas. Cuando estas no se usen, hay que colocarlas en paneles, armarios o bancos adecuados. Para evitar el riesgo de golpes o heridas.
- Disponer en los talleres de **recipientes incombustibles, de cierre automático y hermético**, para depositar en ellos todos los desperdicios inflamables, así como los trapos impregnados de aceite o grasa. De esta forma se evita el riesgo de incendio.

© Ediciones Paraninfo

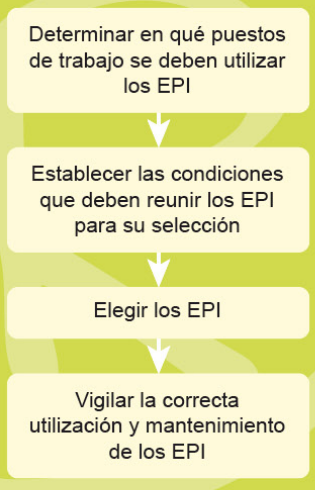
Recuerda que...

Nunca hay que situarse debajo de un objeto que esté sujeto únicamente por un sistema hidráulico, como un gato, ya que puede producirse un descenso brusco de la presión, por ejemplo por una fuga, y provocar un aplastamiento.

- Aplicar las **normas de conservación** indicadas por el fabricante en todas las herramientas, en las máquinas y en los equipos de protección individual, estableciendo un sistema periódico de revisión.
- Colocar **barandillas alrededor del foso** de reparaciones, si lo hubiera, de una altura no inferior a 0,90 metros y cubrirlo cuando no se use, para impedir las caídas. Además se deben limpiar y recoger los aceites y otros fluidos de su interior para evitar los resbalones durante el trabajo.
- Instalar **seguros de protección**, como los bloqueos automáticos, fines de carrera, paradas de emergencia… en las grúas, los gatos o las plataformas elevadoras para garantizar la parada inmediata de estos sistemas, en el caso de que una avería provoque su descenso brusco.
- Poner **puesta a tierra** en toda la instalación eléctrica, utilizando tensión de seguridad en las lámparas portátiles y emplear prolongadores con enchufes múltiples.
- Usar los **equipos de protección individual** (EPI) adecuados para cada trabajo y que, al igual que las máquinas, tengan el **marcado CE**.

Recuerda que...

Las obligaciones del empresario con respecto a los equipos de protección individual son:



- **Organizar el trabajo** evitando prolongar en exceso la jornada laboral habitual y **planificar las tareas** teniendo en cuenta que hay que destinar una parte del tiempo para imprevistos. De este modo, se ayuda a prevenir situaciones de cansancio físico y psíquico que pueden originar un accidente.
- **Formar** a todas las personas que trabajan en un taller de reparación de vehículos de las situaciones de riesgo que se puedan encontrar.

14.4. Equipos de protección individual

El Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual, define el equipo de protección individual (EPI) como *cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin.*

En el mismo Real Decreto se establecen las siguientes obligaciones del empresario:

- Determinar los puestos de trabajo en los que deba recurrirse a la protección y precisar, para cada uno de estos puestos, el riesgo o riesgos frente a los que debe ofrecerse protección, las partes del cuerpo a proteger y el tipo de equipo o equipos de protección individual que deberán utilizarse.
- Elegir los equipos de protección individual conforme a lo dispuesto en los artículos, manteniendo disponible en la empresa o centro de trabajo la información pertinente a este respecto y facilitando información sobre cada equipo.
- Proporcionar gratuitamente a los trabajadores los equipos de protección individual que deban utilizar, reponiéndolos cuando resulte necesario.
- Velar por que la utilización de los equipos se realice de forma correcta.
- Asegurar que el mantenimiento de los equipos se realice adecuadamente.

Las condiciones que deben reunir los EPI son las siguientes:

- Proporcionar una protección eficaz frente a los riesgos que motivan su uso, sin que ocasionen riesgos adicionales ni molestias innecesarias. A tal fin deberán:

© Ediciones Paraninfo

  - Responder a las condiciones existentes en el lugar de trabajo.
  - Tener en cuenta las condiciones anatómicas y fisiológicas y el estado de salud del trabajador.
  - Adecuarse al portador, tras los ajustes necesarios.
- En caso de riesgos múltiples que exijan la utilización simultánea de varios equipos de protección individual, estos deberán ser compatibles entre sí y mantener su eficacia en relación con el riesgo o riesgos correspondientes.
- En cualquier caso, los equipos de protección individual que se utilicen deberán reunir los requisitos establecidos en cualquier disposición legal o reglamentaria que les sea de aplicación, en particular en lo relativo a su diseño y fabricación.

Para poder ser comercializados los EPI en el seno de la Unión Europea, el fabricante de los equipos de protección individual ha de hacer que sus productos satisfagan una serie de requisitos que garanticen la seguridad y la salud del usuario. Dichos requisitos se denominan «exigencias esenciales de salud y seguridad». Para ello, los equipos se clasifican en tres categorías:

- **Categoría I:** para equipos destinados a proteger contra riesgos mínimos.
- **Categoría II:** para equipos destinados a proteger contra riesgos de grado medio o elevado, pero no de consecuencias mortales o irreversibles.
- **Categoría III:** para equipos destinados a proteger contra riesgos de consecuencias mortales o irreversibles.

Una vez asegurado el cumplimiento de las exigencias esenciales de salud y seguridad el fabricante está en condiciones de poner su producto en el mercado. Para ello estampará en su producto una marca que signifique que su producto es conforme con las exigencias esenciales de salud y seguridad. Este marcado se compone de los siguientes elementos:

- Las siglas CE para los equipos de las categorías I y II.
- Las siglas CE seguidas de un número de cuatro dígitos para los equipos de categoría III.

Además, deberá incluir:

- Una declaración en la que certifique que el EPI comercializado cumple lo dispuesto en el Real Decreto a fin de poderla presentar a la Administración competente.
- Un folleto informativo en el que se referenciarán y explicarán claramente los niveles de protección ofrecidos por el equipo, el mantenimiento y, en su caso, las sustituciones necesarias.

La Figura 14.1 muestra los elementos obligatorios a facilitar al usuario y un ejemplo de folleto informativo.

Elementos obligatorios a facilitar al usuario

1. Marcado CE

A = EPI categorías I y II

A + B = EPI categoría III

B = código de cuatro dígitos identificativos, en el ámbito de la UE, del organismo que lleva a cabo el control de aseguramiento de la calidad de la producción.

2. Folleto informativo

a) Instrucciones de almacenamiento, uso, limpieza, mantenimiento, revisión y desinfección.
b) Rendimientos técnicos alcanzados en los exámenes técnicos dirigidos a la verificación de los grados o clases de protección de los EPI.
c) Accesorios que se puedan utilizar en los EPI y características de las piezas de repuesto adecuadas.
d) Clases de protección adecuadas a los diferentes niveles de riesgo y límites de uso correspondientes.
e) Fecha o plazo de caducidad de los EPI o de alguno de sus componentes.
f) Tipo de embalaje adecuado para transportar los EPI.
g) Explicación de las marcas, si las hubiere.
h) En su caso, las referencias de las disposiciones aplicadas para la estampación del marcado CE, cuando al EPI le son aplicables, además, disposiciones referentes a otros aspectos y que conlleven la estampación del referido marcado.

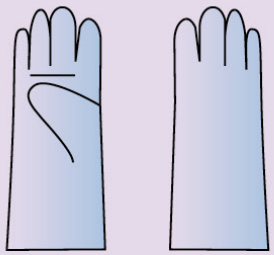
Figura 14.1. *Elementos obligatorios a facilitar al usuario y un ejemplo de folleto de EPI (continúa).*

© Ediciones Paraninfo

i) Nombre, dirección y número de identificación de los organismos de control notificados que intervienen en la fase de diseño de los EPI.

Hoja de características

Guantes de protección mecánica y térmica, para soldadores



CE

ORGANISMO NOTIFICADO Nº XXXX

Descripción y composición:

- Guante de 5 dedos.
- Cuero serraje crupón curtido al cromo, de aproximadamente 1,5 mm, extra-flexible.
- Protección en costuras.
- Totalmente forrado.
- Manga larga, con el dorso de una sola pieza.

Talla:

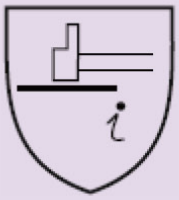
- Única.

Mantenimiento:

- Cuando su estado lo aconseje, el guante puede lavarse industrialmente en seco.

Niveles de protección según normas europeas:

Mecánica según EN 388



ABCD

a) Resistencia a la ABRASIÓN XXXX ciclos. NIVEL X.
b) Resistencia al CORTE Factor XXXX. NIVEL X.
c) Resistencia al DESGARRO XXXX Newton. NIVEL X.
d) Resistencia a la PENETRACIÓN XXXX Newton. NIVEL X.

Térmica según EN 407

ABCDEF

a) INFLAMABILIDAD: NIVEL X.
b) Calor por CONTACTO: xx seg (xxx °C) NIVEL X.
c) Calor CONVECTIVO: HTI xx seg NIVEL X.
d) Calor RADIANTE: t2 xx seg NIVEL X.
e) Salpicaduras de METAL FUNDIDO: >xx gotas NIVEL X.
f) Gran proyección de metal fundido: no adecuado frente a este riesgo.

Uso:

Este guante está especialmente indicado para ser utilizado en los trabajos tipo soldador o similar, donde se requiera una buena protección mecánico/térmica, manteniendo un buen nivel de confort.

No debe usarse este tipo de guantes en puestos de trabajo donde el riesgo a cubrir supere los niveles de prestaciones alcanzados según EN 388 y EN 407, o cuando se trate de riesgos no mecánicos o térmicos (p. ej., químicos, eléctricos...).

Figura 14.1. Elementos obligatorios a facilitar al usuario y un ejemplo de folleto de EPI (continuación).

© Ediciones Paraninfo

En el Real Decreto 773/1997 aparece una lista indicativa y no exhaustiva de actividades y sectores de actividades que pueden requerir la utilización de equipos de protección individual. A continuación se extractan de la misma los EPI relacionados con trabajos propios del mantenimiento y reparación de motores:

Protectores de la cabeza (protección del cráneo)

- Cascos protectores (Figura 14.2):
  - La utilización o manipulación de pistolas grapadoras.
  - Actividades en ascensores, mecanismos elevadores, grúas y medios de transporte.

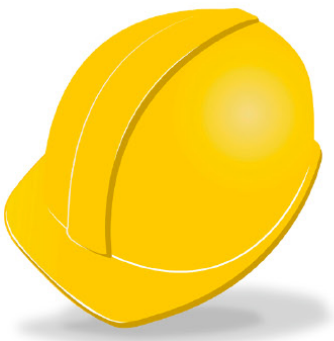


Figura 14.2. *Casco protector.*

  - Actividades en instalaciones de altos hornos, plantas de reducción directa, acerías, laminadores, fábricas metalúrgicas, talleres de martillo, talleres de estampado y fundiciones.
  - Maniobras de trenes.

Protección del pie

- Calzado de protección y de seguridad (Figura 14.3):

Figura 14.3. *Botas de seguridad.*

  - Actividades en obras de construcción o áreas de almacenamiento.
  - Trabajos en las instalaciones de altos hornos, plantas de reducción directa, acerías, laminadores, fábricas metalúrgicas, y talleres de martillo, talleres de estampado, prensas en caliente y trefilerías.
  - Transportes y almacenamientos.
  - Obras de construcción naval.
  - Maniobras de trenes.

Protección ocular o facial

- Gafas de protección, pantallas o pantallas faciales (Figura 14.4):
  - Trabajos de soldadura, esmerilado o pulido y corte.
  - Trabajos de perforación y burilado.
  - Manipulación o utilización de pistolas grapadoras.
  - Utilización de máquinas que al funcionar levanten virutas en la transformación de materiales que produzcan virutas cortas.
  - Trabajos de estampado.
  - Trabajo con chorro proyector de abrasivos granulosos.
  - Manipulación o utilización de productos ácidos y alcalinos, desinfectantes y detergentes corrosivos.

Figura 14.4. *Protección ocular y facial.*

© Ediciones Paraninfo

– Manipulación o utilización de dispositivos con chorro líquido.
– Trabajos con masas en fusión y permanencia cerca de ellas.
– Actividades en un entorno de calor radiante.
– Trabajos eléctricos en tensión, en baja tensión.

Protección respiratoria

- Equipos de protección respiratoria (Figura 14.5):
  – Trabajos en contenedores, locales exiguos y hornos industriales alimentados con gas, cuando puedan existir riesgos de intoxicación por gas o de insuficiencia de oxígeno.

Figura 14.5. *Protección respiratoria.*

Protección del oído

- Protectores del oído (Figura 14.6):
  – Utilización de prensas para metales.
  – Trabajos que lleven consigo la utilización de dispositivos de aire comprimido.
  – Actividades del personal de tierra en los aeropuertos.
  – Trabajos de percusión.

Figura 14.6. *Protección auditiva.*

Protección del tronco, los brazos y las manos (Figura 14.7)

- Prendas y equipos de protección:
  – Manipulación o utilización de productos ácidos y alcalinos, desinfectantes y detergentes corrosivos.

Figura 14.7. *Protección del tronco, brazos y manos.*

  – Trabajos con masas ardientes o permanencia cerca de estas y en ambiente caliente.
  – Trabajos de chorreado con arena.
- Ropa de protección antiinflamable:
  – Trabajos de soldadura en locales exiguos.
- Mandiles de cuero y otros materiales resistentes a partículas y chispas incandescentes:
  – Trabajos de soldadura.
  – Trabajos de forja.
  – Trabajos de fundición y moldeado.
- Guantes:
  – Trabajos de soldadura.
  – Manipulación de objetos con aristas cortantes, salvo que se utilicen máquinas con riesgo de que el guante quede atrapado.
  – Manipulación o utilización de productos ácidos y alcalinos.
  – Trabajos con riesgo eléctrico.

Ropa de protección para el mal tiempo

- Trabajos al aire libre con tiempo lluvioso o frío.

Ropa y prendas de seguridad-señalización (Figura 14.8)

- Trabajos que exijan que las prendas sean vistas a tiempo.

© Ediciones Paraninfo

Figura 14.8. *Ropa de seguridad-señalización.*

Prendas y medios de protección de la piel

- Manipulación con revestimientos; productos o sustancias que puedan afectar a la piel o penetrar a través de ella.

14.5. Señalización de seguridad en el taller

Es obligación del empresario el adoptar las medidas precisas para que en los lugares de trabajo exista una señalización de seguridad y salud que cumpla lo establecido en los anexos I a VII del Real Decreto 485/1997.

El Real Decreto 485/1997 clasifica los tipos de señalización en el lugar de trabajo de la siguiente forma:

- **En forma de panel:**
  - **De advertencia:** tienen forma triangular. Pictograma negro sobre fondo amarillo (el amarillo deberá cubrir como mínimo el 50 % de la superficie de la señal), bordes negros. La Figura 14.9 muestra ejemplos de señales de advertencia.
  - **De prohibición:** tienen forma redonda. Pictograma negro sobre fondo blanco, bordes y banda (transversal descendente de izquierda a derecha atravesando el pictograma a 45° respecto a la horizontal) rojos (el rojo deberá cubrir como mínimo el 35 % de la superficie de la señal). La Figura 14.10 muestra ejemplos de señales de prohibición.

Figura 14.9. *Ejemplos de señales de advertencia.*

Figura 14.10. *Ejemplos de señales de prohibición.*

© Ediciones Paraninfo

– **De obligación:** tienen forma redonda. Pictograma blanco sobre fondo azul (el azul deberá cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal). La Figura 14.11 muestra ejemplos de señales de obligación.

– **De lucha contra incendios:** tienen forma rectangular o cuadrada. Pictograma blanco sobre fondo rojo (el rojo deberá cubrir como mínimo el 50 % de la superficie de la señal). La Figura 14.12 muestra ejemplos de señales de lucha contra incendios.

– **De salvamento o socorro:** tienen forma rectangular o cuadrada. Pictograma blanco sobre fondo verde (el verde deberá cubrir como mínimo el 50 % de la superficie de la señal). La Figura 14.13 muestra ejemplos de señales de salvamento o socorro.

- **Luminosas y acústicas (Figura 14.14):**

  – **Características y requisitos de las señales luminosas:**

Figura 14.11. *Ejemplos de señales de obligación.*

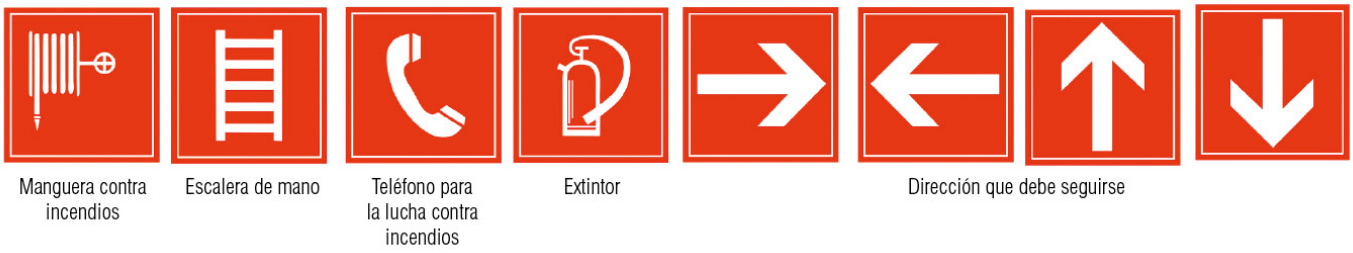


Figura 14.12. *Ejemplos de señales de lucha contra incendios.*

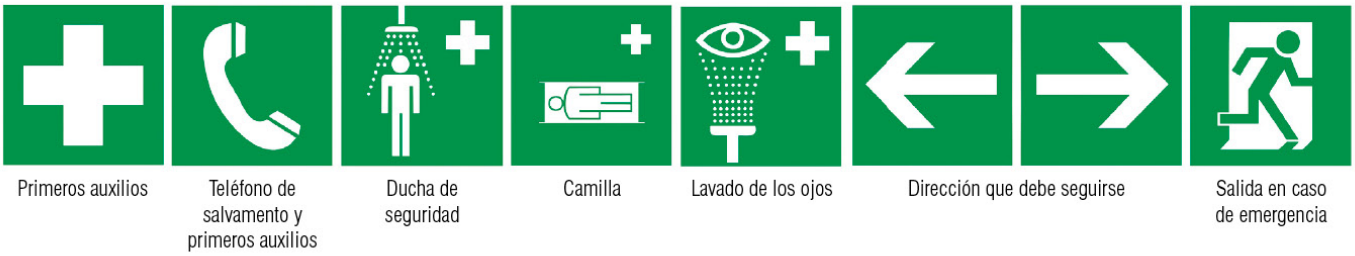


Figura 14.13. *Ejemplos de señales de salvamento o socorro.*

Figura 14.14. *Señales luminosas y acústicas.*

© Ediciones Paraninfo

» La luz emitida por la señal deberá provocar un contraste luminoso apropiado respecto a su entorno, en función de las condiciones de uso previstas. Su intensidad deberá asegurar su percepción, sin llegar a producir deslumbramientos.

» La superficie luminosa que emita una señal podrá ser de color uniforme, o llevar un pictograma sobre un fondo determinado.

» Si un dispositivo puede emitir una señal tanto continua como intermitente, la señal intermitente se utilizará para indicar, con respecto a la señal continua, un mayor grado de peligro o una mayor urgencia de la acción requerida.

» No se utilizarán al mismo tiempo dos señales luminosas que puedan dar lugar a confusión, ni una señal luminosa cerca de otra emisión luminosa apenas diferente.

» Los dispositivos de emisión de señales luminosas para uso en caso de peligro grave deberán ser objeto de revisiones especiales o ir provistos de una bombilla auxiliar.

– **Características y requisitos de uso de las señales acústicas:**

» La señal acústica deberá tener un nivel sonoro superior al nivel de ruido ambiental, de forma que sea claramente audible, sin llegar a ser excesivamente molesto.

» El tono de la señal acústica o, cuando se trate de señales intermitentes, la duración, intervalo y agrupación de los impulsos, deberá permitir su correcta identificación y clara distinción frente a otras señales acústicas o ruidos ambientales. No deberán utilizarse dos señales acústicas simultáneamente.

» Si un dispositivo puede emitir señales acústicas con un tono o intensidad variables o intermitentes, o con un tono o intensidad continuos, se utilizarán las primeras para indicar, por contraste con las segundas, un mayor grado de peligro o una mayor urgencia de la acción requerida. El sonido de una señal de evacuación deberá ser continuo.

– **Disposiciones comunes:**

» Una señal luminosa o acústica indicará, al ponerse en marcha, la necesidad de realizar una determinada acción, y se mantendrá mientras persista tal necesidad. Al finalizar la emisión de una señal luminosa o acústica se adoptarán de inmediato las medidas que permitan volver a utilizarlas en caso de necesidad.

» La eficacia y buen funcionamiento de las señales luminosas y acústicas se comprobará antes de su entrada en servicio, y posteriormente mediante las pruebas periódicas necesarias.

» Las señales luminosas y acústicas intermitentes previstas para su utilización alterna o complementaria deberán emplear idéntico código.

- **Comunicación verbal:** la comunicación verbal se establece entre un locutor o emisor y uno o varios oyentes, en un lenguaje formado por textos cortos, frases, grupos de palabras o palabras aisladas, eventualmente codificados. Los mensajes verbales serán tan cortos, simples y claros como sea posible. La comunicación verbal será directa (utilización de la voz humana) o indirecta (voz humana o sintética, difundida por un medio apropiado). Las personas afectadas deberán conocer bien el lenguaje utilizado para comprender el mensaje. Si la comunicación verbal se utiliza en lugar o como complemento de señales gestuales, habrá que utilizar palabras tales como, por ejemplo:
  – **Comienzo:** para indicar la toma de mando.
  – **Alto:** para interrumpir o finalizar un movimiento.
  – **Fin:** para finalizar las operaciones.
  – **Bajar:** para bajar una carga.
  – **Avanzar, retroceder, a la derecha, a la izquierda:** para indicar el sentido de un movimiento (el sentido de estos movimientos debe, en su caso, coordinarse con los correspondientes códigos gestuales).
  – **Peligro:** para efectuar una parada de emergencia.
  – **Rápido:** para acelerar un movimiento por razones de seguridad.
- **Comunicación gestual:** una señal gestual deberá ser precisa, simple, amplia, fácil de realizar y comprender y claramente distinguible de cualquier otra señal gestual. En la comunicación gestual hay una persona que emite las señales, denominada encargado de las señales, que da las instrucciones de maniobra mediante señales gestuales, y un destinatario de las mismas, denominado operador. Algunos ejemplos de gestos codificados son los que aparecen en las Tablas 14.2, 14.3, 14.4, y 14.5.

A continuación se expone un extracto de las disposiciones mínimas relativas a las siguientes señalizaciones que se establecen en el Anexo VII del Real Decreto 485/1997:

- **Riesgos, prohibiciones y obligaciones:** esta señalización se realizará mediante señales en forma de panel.
- **Riesgo de caídas, choques y golpes:**
  – Para esta señalización podrá optarse por según lo dispuesto en el apartado anterior o por un color de seguridad, o bien podrán utilizarse ambos complementariamente.

© Ediciones Paraninfo

– La delimitación de las zonas a las que el trabajador tenga acceso con riesgos de caída de personas, caída de objetos, choques o golpes, se realizará mediante un color de seguridad.

TABLA 14.2

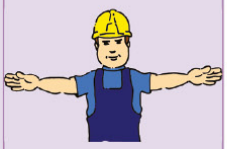
Gestos generales		
Significado	**Descripción**	**Ilustración**
Comienzo: Atención. Toma de mando.	Los dos brazos extendidos de forma horizontal, las palmas de las manos hacia adelante.	
Alto: Interrupción. Fin del movimiento.	El brazo derecho extendido hacia arriba, la palma de la mano hacia adelante.	
Fin de las operaciones.	Las dos manos juntas a la altura del pecho.	

TABLA 14.3

Movimientos verticales		
Significado	**Descripción**	**Ilustración**
Izar	Brazo derecho extendido hacia arriba, la palma de la mano derecha hacia adelante, describiendo lentamente un círculo.	
Bajar	Brazo derecho extendido hacia abajo, palma de la mano derecha hacia el interior, describiendo lentamente un círculo.	
Distancia vertical	Las manos indican la distancia.	

TABLA 14.4

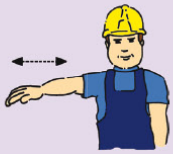
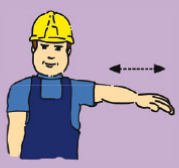
Movimientos horizontales		
Significado	**Descripción**	**Ilustración**
Avanzar	Los dos brazos doblados, las palmas de las manos hacia el interior, los antebrazos se mueven lentamente hacia el cuerpo.	
Retroceder	Los dos brazos doblados, las palmas de las manos hacia el exterior, los antebrazos se mueven lentamente, alejándose del cuerpo.	
Hacia la derecha. Con respecto al encargado de las señales.	El brazo derecho extendido más o menos en horizontal, la palma de la mano derecha hacia abajo, hace pequeños movimientos lentos indicando la dirección.	
Hacia la izquierda. Con respecto al encargado de las señales.	El brazo izquierdo extendido más o menos en horizontal, la palma de la mano izquierda hacia abajo, hace pequeños movimientos lentos indicando la dirección.	
Distancia horizontal	Las manos indican la distancia.	

TABLA 14.5

Peligro		
Significado	**Descripción**	**Ilustración**
Peligro. Alto o parada de emergencia	Los dos brazos extendidos hacia arriba, las palmas de las manos hacia adelante.	
Rápido	Los gestos codificados referidos a los movimientos se hacen con rapidez.	
Lento	Los gestos codificados referidos a los movimientos se hacen muy lentamente.	

© Ediciones Paraninfo

– La señalización por color referida en los dos apartados anteriores se efectuará mediante franjas alternas amarillas y negras. Las franjas deberán tener una inclinación aproximada de 45° y ser de dimensiones similares de acuerdo al modelo de la Figura 14.15.

Figura 14.15. *Señalización cuando exista riesgo de caídas, choques y golpes.*

- **Vías de circulación (Figura 14.16):**

  – Las vías de circulación de vehículos deberán estar delimitadas con claridad mediante franjas continuas de un color bien visible, preferentemente blanco o amarillo, teniendo en cuenta el color del suelo. La delimitación deberá respetar las necesarias distancias de seguridad entre vehículos y objetos próximos, y entre peatones y vehículos.

Figura 14.16. *Señalización de vías de circulación.*

Figura 14.17. *Pictogramas de seguridad.*

- **Tuberías, recipientes y áreas de almacenamiento de sustancias y preparados peligrosos:**

  – Deberán ser etiquetados según lo dispuesto en la normativa sobre comercialización de sustancias o preparados peligrosos.

  – Las etiquetas se pegarán, fijarán o pintarán en sitios visibles de los recipientes o tuberías. La información de la etiqueta podrá complementarse con otros datos, tales como el nombre o fórmula de la sustancia o preparado peligroso o detalles adicionales sobre el riesgo. La Figura 14.17 y 14.18 muestra varios ejemplos de etiquetado.

  – Las zonas, locales o recintos utilizados para almacenar cantidades importantes de sustancias o preparados peligrosos deberán identificarse mediante la señal de advertencia apropiada. El almacenamiento de diversas sustancias o preparados peligrosos puede indicarse mediante la señal de advertencia peligro en general.

- **Equipos de protección contra incendios:**

  – Deberán ser de color rojo o predominantemente rojos, como muestra la Figura 14.19, de forma que se puedan identificar fácilmente por su color propio.

© Ediciones Paraninfo

ÁCIDO SULFÚRICO

Corrosivo

C

N° CEE 231-639-5
N° CEE

ÁCIDO SULFÚRICO 50 %

R 35
Provoca quemaduras.
En caso de contacto con los ojos, lávense inmediatamente y abundantemente con agua y acúdase a un médico.
No echar agua a este producto.
En caso de accidente o malestar, acuda inmediatamente al médico (si es posible, muéstrele la etiqueta).

S (1/2) 26-30-45

EL VIENTO SL. Av. del Aire s/n - 1221 EL CIERZO
T 0123 45 67 89. www.airecillo.es

Fácilmente inflamable

F

EL VIENTO SL.
Av. del Aire
1221 EL CIERZO
T 0123 45 67 89
www.airecillo.es

Nocivo

Xn

TOLUENO

R 11-20
S 16-25-29-33

N° CEE 203-625-9
N° ONU 1294

Nocivo por inhalación.
Conservar alejado de toda llama o fuentes de chispas - No fumar.
Evítese el contacto con los ojos.
No tirar los residuos por el desagüe.
Evítese la acumulación de cargas electroestáticas.

Figura 14.18. *Ejemplos de etiquetas para recipientes y tuberías.*

Figura 14.19. *Equipos de protección contra incendios.*

- **Medios y equipos de salvamento y socorro:**
  - La señalización para la localización e identificación de las vías de evacuación y de los equipos de salvamento o socorro se realizará mediante señales en forma de panel, según la Figura 14.20.

Figura 14.20. *Señalización para la localización e identificación de las vías de evacuación y de los equipos de salvamento o socorro.*

- **Situaciones de emergencia:**
  - La señalización se realizará mediante una señal luminosa, una señal acústica, una comunicación verbal o una combinación de las tres.
- **Maniobras peligrosas:**
  - La señalización se realizará mediante señales gestuales, comunicaciones verbales o una combinación de ambas.

14.6. Fichas de seguridad

El Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, en su artículo 23, relativo a las fichas de seguridad expone que el responsable de la comercialización de una sustancia peligrosa deberá disponer de una ficha de datos de seguridad en el momento de la comercialización. Además, dicho responsable deberá facilitar al destinatario, que sea un usuario profesional, una ficha de datos de seguridad, en el momento de la primera entrega de la misma o incluso antes, de forma gratuita. La ficha de datos de seguridad deberá incluir los siguientes epígrafes:

- Identificación de la sustancia y del responsable de su comercialización.
- Composición/información sobre los componentes.
- Identificación de los peligros.

© Ediciones Paraninfo

- Primeros auxilios.
- Medidas de lucha contra incendios.
- Medidas que deben tomarse en caso de vertido accidental.
- Manipulación y almacenamiento.
- Controles de exposición/protección individual.
- Propiedades físico-químicas.
- Estabilidad y reactividad.
- Informaciones toxicológicas.
- Informaciones ecológicas.
- Consideraciones relativas a la eliminación.
- Informaciones relativas al transporte.
- Informaciones reglamentarias.
- Otras informaciones.

En las Figuras 14.21.A y 14.21.B se muestra el ejemplo de la ficha de seguridad de la gasolina.

14.7. Gestión medioambiental

La gestión medioambiental en un taller se puede dividir en tres partes: gestión de los recursos, gestión de la contaminación y residuos y gestión del espacio ocupado. El Ministerio de Medio Ambiente ofrece para los profesionales del sector de la familia profesional de automoción un manual de buenas prácticas ambientales basado en estos tres niveles de gestión, resumido a continuación.

Sabías que...

La norma ISO 14000 es un conjunto de documentos de gestión ambiental que, una vez implantados, afectará todos los aspectos de la gestión de una organización en sus responsabilidades ambientales y ayudará a las organizaciones a tratar sistemáticamente asuntos ambientales, con el fin de mejorar el comportamiento ambiental y las oportunidades de beneficio económico. Los estándares son voluntarios, no tienen obligación legal y no establecen un conjunto de metas cuantitativas en cuanto a niveles de emisiones o métodos específicos de medir esas emisiones.

- **Gestión de los recursos:**
  - **Energía:**
    - » Informar a los trabajadores en materia de ahorro energético.
    - » Apagar los sistemas eléctricos que no estén funcionando.
    - » Comprar equipos con alta eficiencia energética.
    - » No apagar y encender con frecuencia los tubos fluorescentes, ya que consumen más energía en el encendido.
    - » Usar la climatización sólo cuando sea necesario.
    - » Evitar fugas de aire comprimido de los equipos.
  - **Agua:**
    - » Informar a los trabajadores en materia de ahorro de agua.
    - » Arreglar goteras en grifos.
    - » No utilizar mangueras para el lavado de automóviles.
  - **Consumo de productos:**
    - » Informar a los trabajadores en materia de ahorro de materiales consumibles.
    - » Elegir materiales, productos y suministradores con certificación ambiental.
    - » Comprar consumibles de motor de larga duración y que no se conviertan en residuos peligrosos al final de su vida útil.
    - » No cambiar piezas de forma innecesaria.
    - » Elegir útiles y herramientas de larga duración.
    - » Emplear los productos químicos menos nocivos.
    - » Reutilizar envases y productos que se presten a ello.
    - » Limpiar los vehículos reparados mediante sistemas que ahorren productos químicos de limpieza.
- **Gestión de la contaminación y de los residuos:**
  - Informar a los trabajadores en materia de minimización y correcta gestión de los residuos y la contaminación.
  - Utilizar productos que al final de su vida útil sean reciclables y que no contengan productos peligrosos.
  - Gestionar los residuos de forma que se facilite su recuperación, almacenándolos por separado y bien identificados.
  - Cumplir escrupulosamente la legislación en materia de residuos peligrosos.
  - Colocar los contenedores de residuos peligrosos en lugares adecuados.
  - Entregar los residuos peligrosos a un gestor autorizado.
  - Evitar hacer las pruebas de motor en calles de centros urbanos para evitar la contaminación acústica y atmosférica.

© Ediciones Paraninfo

Fichas Internacionales de Seguridad Química

GASOLINA **ICSC: 1400**

MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES ESPAÑA

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Nafta de baja temperatura de ebullición, sin especificar

Nº CAS 86290-81-5
Nº RTECS DE3550000
Nº ICSC 1400
Nº NU 1203
Nº CE 649-378-00-4

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICIÓN	PELIGROS/ SÍNTOMAS AGUDOS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra).	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN			
• **INHALACIÓN**	Confusión mental. Tos. Vértigo. Somnolencia. Embotamiento. Dolor de cabeza.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
• **PIEL**	¡PUEDE ABSORBERSE! Piel seca. Enrojecimiento.	Guantes protectores. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
• **OJOS**	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas de protección de seguridad, o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
• **INGESTIÓN**	Náuseas. Vómitos. (Para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber agua abundante. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Eliminar todas las fuentes de ignición. NO verterlo al alcantarillado. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio.	NU (transporte): Ver pictogramas en cabecera. Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: I Contaminante marino. CE: símbolo T R: 45-65 S: 53-45 Nota: H, P, 4

VÉASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

ICSC: 1400 Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS,2003

Figura 14.21A. *Ejemplo de la ficha de seguridad de la gasolina.*

© Ediciones Paraninfo

GASOLINA

ICSC: 1400

DATOS IMPORTANTES	**ESTADO FÍSICO; ASPECTO** Líquido transportable. **PELIGROS FÍSICOS** El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante. El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas. **LÍMITES DE EXPOSICIÓN** TLV: 300 ppm (cmo TWA); 500 ppm (como STEL); A3 (ACGIH 2003). MAK no establecido. Véanse notas.	**VÍAS DE EXPOSICIÓN** La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión. **RIESGO DE INHALACIÓN** Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire. **EFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN** La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La ingestión del líquido puede dar lugar a la aspiración del mismo por los pulmones y la consiguiente neumonitis química. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central. **EFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA** El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central e hígado. Esta sustancia es posiblemente carcinógena para los seres humanos.
PROPIEDADES FÍSICAS	Punto de ebullición: 20-200°C Densidad relativa (agua = 1): 0.70 - 0.80 Solubilidad en agua, g/100 ml: ninguna Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3 - 4	Punto de inflamación: 21°C Temperatura de autoignición: alrededor de 250°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1.3 - 7.1 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 2-7
DATOS AMBIENTALES	La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.	

NOTAS

Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. El producto puede contener aditivos que pueden modificar los efectos sobre la salud y el medio ambiente.

Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1203
Código NFPA: H 1; F 3; R 0;

INFORMACIÓN ADICIONAL

Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: **http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm**	Última revisión IPCS: 2001 Traducción al español y actualización de valores límite y etiquetado: 2003

ICSC: 1400 **GASOLINA**

©CE, IPCS, 2003

NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

Figura 14.21B. *Ejemplo de la ficha de seguridad de la gasolina.*

© Ediciones Paraninfo

- **Gestión del espacio ocupado:**
  - No realizar la reparación de motores náuticos sobre el agua para evitar vertidos de aceite y otros fluidos del motor.
  - Aislar las zonas donde se trabaje con productos tóxicos o peligrosos.
  - Evitar el derrame de fluidos de motor y de los residuos de líquidos resultantes de las actividades en el suelo.
  - Evitar las reparaciones en zonas de vía pública o espacios abiertos.
  - Situar los talleres de reparación alejados de centros urbanos.

14.8. Almacenamiento y retirada de residuos

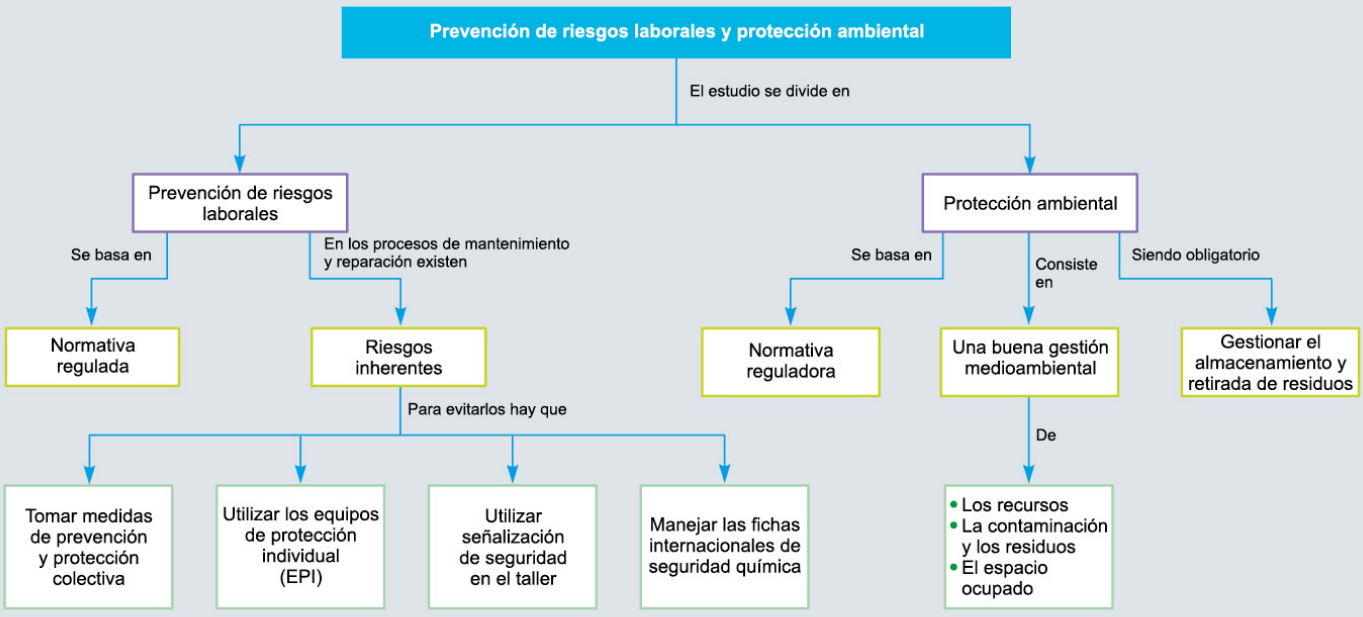
La ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, tiene por objeto prevenir la producción de residuos, establecer el régimen jurídico de su producción y gestión y fomentar, por este orden, su reducción, su reutilización, reciclado y otras formas de valorización, así como regular los suelos contaminados, con la finalidad de proteger el medio ambiente y la salud de las personas. Además establecen las siguientes normas específicas sobre la producción y gestión de los residuos peligrosos:

- Separar adecuadamente y no mezclar los residuos peligrosos, evitando particularmente aquellas mezclas que supongan un aumento de su peligrosidad o dificulten su gestión.
- Envasar y etiquetar los recipientes que contengan residuos peligrosos en la forma que reglamentariamente se determine.
- Llevar un registro de los residuos peligrosos producidos o importados y destino de los mismos.
- Suministrar a las empresas autorizadas para llevar a cabo la gestión de residuos la información necesaria para su adecuado tratamiento y eliminación.
- Presentar un informe anual a la Administración Pública competente, en el que se deberán especificar, como mínimo, cantidad de residuos peligrosos producidos o importados, naturaleza de los mismos y destino final.
- Informar inmediatamente a la Administración Pública competente en caso de desaparición, pérdida o escape de residuos peligrosos.

Las operaciones de mantenimiento y reparación de motores pueden generar residuos peligrosos como aceites usados y filtros, anticongelantes, filtros de combustible… por lo que el taller debe inscribirse en el registro de pequeños productores de residuos peligrosos, previa contratación de los servicios de un gestor autorizado de dichos residuos.

El gestor autorizado de los residuos peligrosos se encarga de su recogida y posterior tratamiento de reciclado, reutilización o valorización.

SÍNTESIS



ACTIVIDADES FINALES

Prevención de riesgos laborales y protección ambiental

COMPRUEBA

14.1. La posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado del trabajo es la definición de:

a) Prevención laboral.
b) Riesgo laboral.
c) Equipo de trabajo.
d) Condición de trabajo.

14.2. La función de la vigilancia y control de la normativa sobre prevención de riesgos laborales corresponde a:

a) La Inspección de Trabajo y Seguridad Social.
b) El Ministerio de Industria.
c) El Ministerio de Medio Ambiente.
d) Las tres respuestas anteriores son correctas.

14.3. El usar de nuevo un producto sin necesidad de transformarlo es la definición de:

a) Valorización.
b) Subproducto.
c) Reutilizar.
d) Reciclar.

14.4. El estudio de datos biológicos y tecnológicos aplicados a problemas de mutua adaptación entre el hombre y la máquina es la definición de:

a) Equipo de trabajo.
b) Desarrollo sostenible.
c) Valorización.
d) Ergonomía.

14.5. Los equipos de protección individual destinados a proteger contra riesgos de consecuencias mortales o irreversibles son de:

a) Categoría I.
b) Categoría II.
c) Categoría III.
d) Categoría IV.

14.6. Las señales que tienen forma triangular, con pictograma negro sobre fondo amarillo y borde negro son de:

a) Advertencia.
b) Prohibición.
c) Lucha contra incendios.
d) Salvamento o socorro.

14.7. Las señales que tienen forma redonda, con pictograma negro sobre fondo blanco y bordes y banda transversal rojos son de:

a) Advertencia.
b) Prohibición.
c) Lucha contra incendios.
d) Salvamento o socorro.

14.8. Las señales que tienen forma rectangular o cuadrada, con pictograma blanco sobre fondo verde son de:

a) Advertencia.
b) Prohibición.
c) Lucha contra incendios.
d) Salvamento o socorro.

14.9. Las señales que tienen forma rectangular o cuadrada, con pictograma blanco sobre fondo rojo son de:

a) Advertencia.
b) Prohibición.
c) Lucha contra incendios.
d) Salvamento o socorro.

14.10. La gestión medioambiental comprende:

a) La gestión de los recursos.
b) La gestión de la contaminación y de los residuos.
c) La gestión del espacio ocupado.
d) Las tres respuestas anteriores son correctas.

REALIZA

14.11. Definir los siguientes conceptos relativos a la prevención de riesgos laborales: prevención, daños derivados del trabajo, equipo de trabajo y equipo de protección individual (EPI).

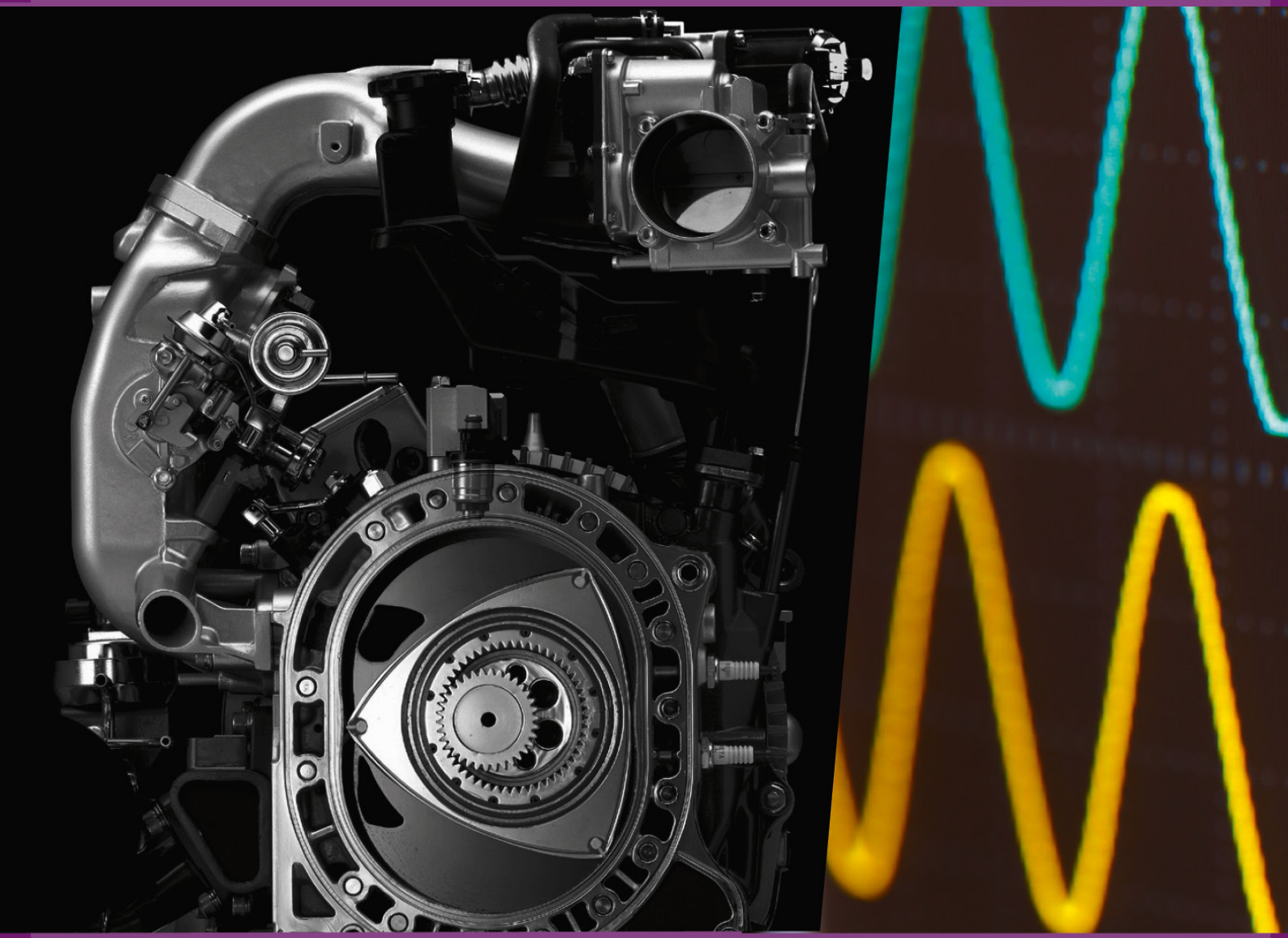
14.12. Definir los siguientes conceptos relativos a la protección ambiental: desarrollo sostenible, eficiencia energética, impacto ambiental, subproducto y valorización.

INVESTIGA

14.13. Tomar el proceso de desmontaje, reparación y montaje del motor de un vehículo basándose en el manual de taller del fabricante. Analizar los riesgos del proceso y establecer qué equipos de protección individual y colectiva son necesarios. Posteriormente, estudiar cómo se deben almacenar los residuos resultantes de dicha operación y cómo se debe gestionar su retirada.

© Ediciones Paraninfo

Anexos



CONTENIDOS

Anexo A. El motor rotativo Wankel
Anexo B. El osciloscopio como herramienta de diagnóstico
Anexo C. Diccionario técnico de motores (inglés-español)
Anexo D. Conversión de unidades

Anexo A. El motor rotativo Wankel

El motor rotativo nace de la idea del alemán Félix Wankel, a la edad de 17 años, cuando pretendía fabricar a mano un vehículo que incorporara un motor de combustión interna de cuatro tiempos en el que, según sus palabras, *un rotor triangular gira dentro de una carcasa especialmente diseñada, y que realiza las mismas funciones que los pistones de un motor convencional, pero reduciendo peso y número de partes móviles*.

En 1924, Félix Wankel tenía 22 años y montó un pequeño laboratorio para desarrollar este motor, construyendo el primer prototipo de motor rotativo con un solo rotor, como el mostrado en la Figura A1.

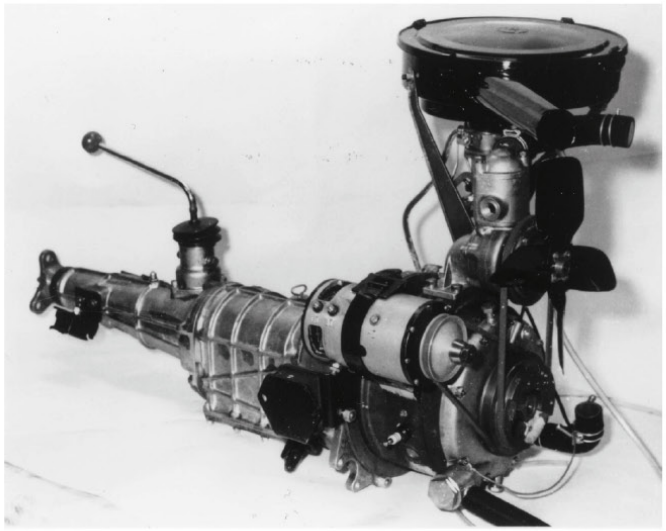


Figura A.1. *Primer prototipo de motor rotativo de un solo rotor.*

El motor rotativo se compone de una carcasa de forma prácticamente oval dentro de la cual gira un rotor triangular. Los espacios entre la carcasa y el rotor forman los volúmenes en los que evolucionará el ciclo de cuatro tiempos. Si el rotor estuviera centrado en el interior de la carcasa, el volumen desplazado sería constante durante el giro del rotor y la combustión de la mezcla empujaría al rotor hacia el centro, de forma radial, y no de forma tangencial, dificultando la producción de trabajo. Por este motivo, la forma de la carcasa tiene forma de peritrocoide y el rotor se monta apoyado sobre una excéntrica.

La forma de peritrocoide se puede generar como muestra la Figura A.2, donde se combinan dos movimientos: rotación y órbita. Se sitúa en un papel un piñón estacionario con dentado exterior, sobre el cual gira un rotor triangular con dentado interior. La relación de transmisión entre piñón y el rotor es de 2/3. En uno de los vértices del rotor se fija una plumilla que, según se hace girar al rotor alrededor del piñón fijo, genera la curva de peritrocoide sobre el papel.

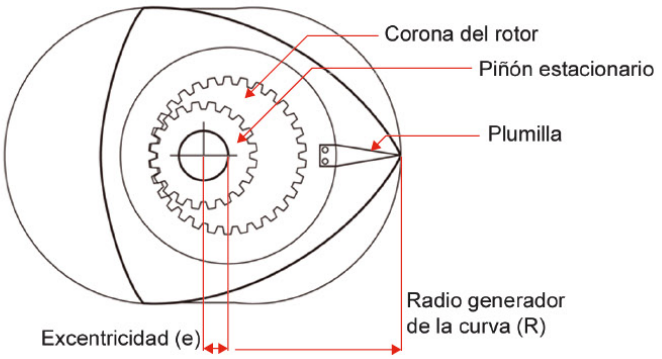


Figura A.2. *Generación de la curva peritrocoide.*

Las cámaras varían su volumen dos veces por cada revolución del rotor, de forma que es posible realizar el ciclo de cuatro tiempos. Por otro lado, las aristas del rotor siguen el contorno de peritrocoide mientras la corona del rotor se mantenga engranada con el piñón estacionario. Para ello, el interior del rotor se divide en dos partes, la corona dentada, que le ayuda a girar alrededor del piñón fijo, y una parte lisa que se apoya sobre una excéntrica unida al árbol de salida. Gracias a la excéntrica se transforma el movimiento orbital del rotor en giratorio. De esta forma, la fuerza de los gases tras la combustión desplaza el rotor y este, a su vez, empuja la excéntrica del árbol motriz, transformando el movimiento de rotación y orbital del rotor en circular en el eje, transmitiendo un par al resto de la cadena cinemática. La relación de transmisión entre el rotor y el árbol de salida es de 1/3, con lo que, a modo de ejemplo, cuando el rotor gira a 2000 rpm, el árbol motriz lo hace a 6000 rpm. La Figura A.3 muestra una sección del rotor y los elementos que transforman el movimiento para un motor rotativo de dos rotores.

Una de las diferencias fundamentales con el motor de combustión interna alternativo es la forma que tiene de utilizar la presión de los gases durante la expansión para generar trabajo. En el motor alternativo, la presión de los gases tras la combustión es aplicada sobre la cabeza del pistón, haciéndolo descender y transmitiendo esa fuerza a través de la biela, que hace girar el cigüeñal. En el caso del motor rotativo, siguiendo la Figura A.4, la expansión de los gases es aplicada en la cara del rotor, surgiendo una fuerza (PG) dirigida hacia el centro de la excéntrica con excentricidad (e). Esta fuerza se divide a su vez en dos, una dirigida hacia el centro del árbol de salida (Pb) y otra tangencial (Ft),

© Ediciones Paraninfo

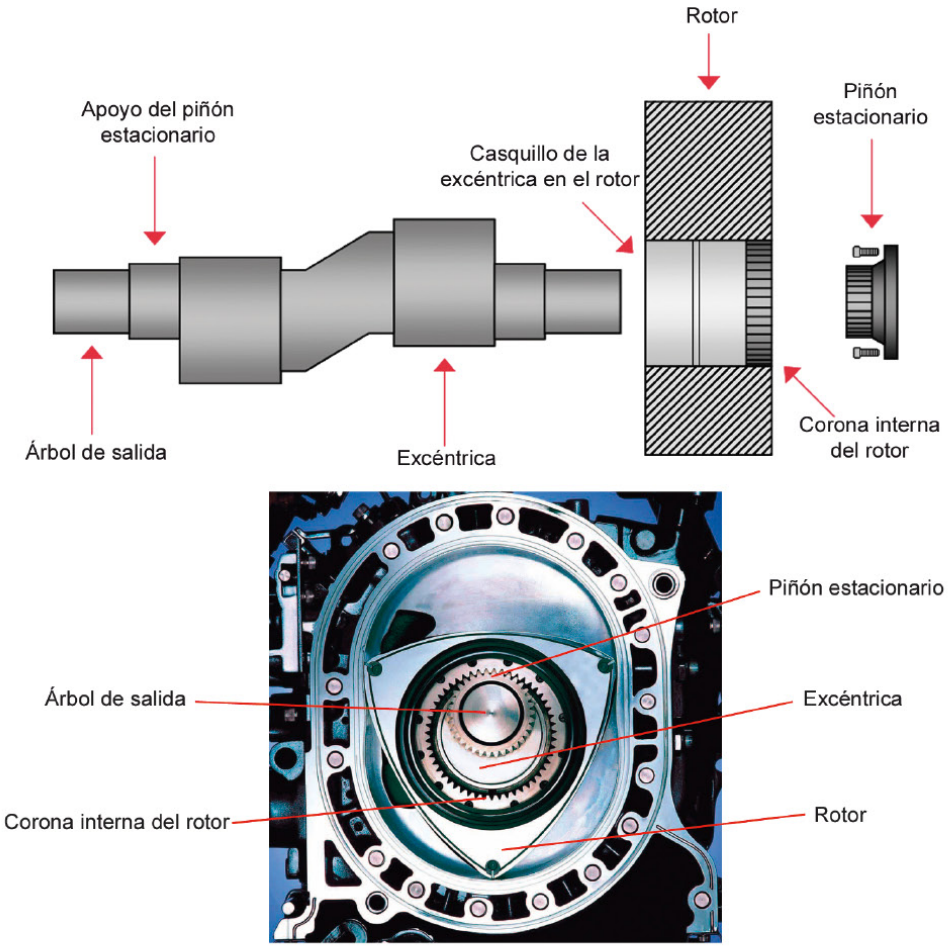


Figura A.3. *Sección del rotor y elementos de transformación del movimiento para un motor rotativo de dos rotores.*

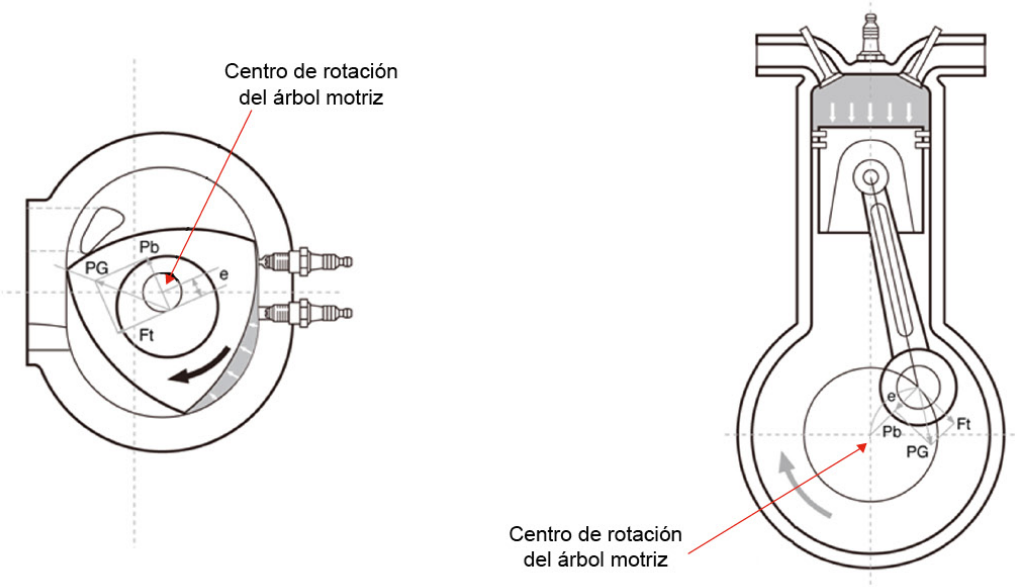


Figura A.4. *Diferencia de aprovechamiento de la fuerza de los gases tras la combustión en un motor rotativo y en uno alternativo.*

© Ediciones Paraninfo

que provoca el giro del árbol motriz. Por tanto, el par motor instantáneo tendrá la siguiente expresión:

$$M(t) = F_t(t) \cdot e$$

Donde:

$M(t)$ es el par motor en función del tiempo, en N · m.

$F_t(t)$ es la fuerza tangencial resultante de la presión de los gases, en N.

e es la excentricidad de la excéntrica, en m.

El espacio entre el rotor y la carcasa se divide en tres cámaras que varían su volumen a medida que gira el rotor. Así, cada cámara realiza en cada momento una de las fases del ciclo de cuatro tiempos. En un motor alternativo, cada cilindro solo puede hacer en cada instante una fase del ciclo. La Figura A.5 muestra esta diferencia, teniendo en cuenta que en el motor rotativo solo se ha representado el ciclo realizado por una de las caras del rotor, el resto estará realizando tiempos diferentes.

La cilindrada total de un motor rotativo viene expresada por el volumen desplazado unitario y el número de rotores. Para el cálculo del volumen desplazado se puede emplear la siguiente expresión:

$$V_D = 3\sqrt{3} \cdot R \cdot e \cdot b$$

Donde:

V_D es el volumen unitario desplazado, en cm^3.

R es el radio generador de la forma de peritrocoide, en cm.

e es la excentricidad de la excéntrica, en cm.

b es la anchura de la carcasa, en cm.

Normalmente, en la hoja de características de los motores rotativos se suele indicar el eje mayor (A) y el eje menor (B) de la curva peritrocoide, así como la anchura (b) de la carcasa, dando lugar a las siguientes expresiones:

$$A = 2(R + e)$$

$$B = 2(R - e)$$

Con lo cual, la expresión del volumen unitario desplazado queda de la siguiente forma:

$$V_D = \frac{3\sqrt{3}}{16} (A^2 - B^2) \cdot b$$

Donde:

A es la longitud del eje mayor del peritrocoide, en cm.

B es la longitud del eje menor del peritrocoide, en cm.

b es la anchura de la carcasa, en cm.

A modo de ejemplo, se puede calcular la cilindrada de un motor rotativo sabiendo los siguientes datos: eje mayor A = 240 mm, eje menor B = 180 mm, anchura b = 80 mm, número de rotores z = 2.

$$V_D = \frac{3\sqrt{3}}{16} (A^2 - B^2) \cdot b =$$

$$= \frac{3\sqrt{3}}{16} (24^2 - 18^2)\ [cm^2] \cdot 8\ [cm] = 654{,}72\ cm^3$$

$$V_T = 654{,}72\ [cm^3] \cdot 2$$

$$V_T = 1309{,}43\ cm^3$$

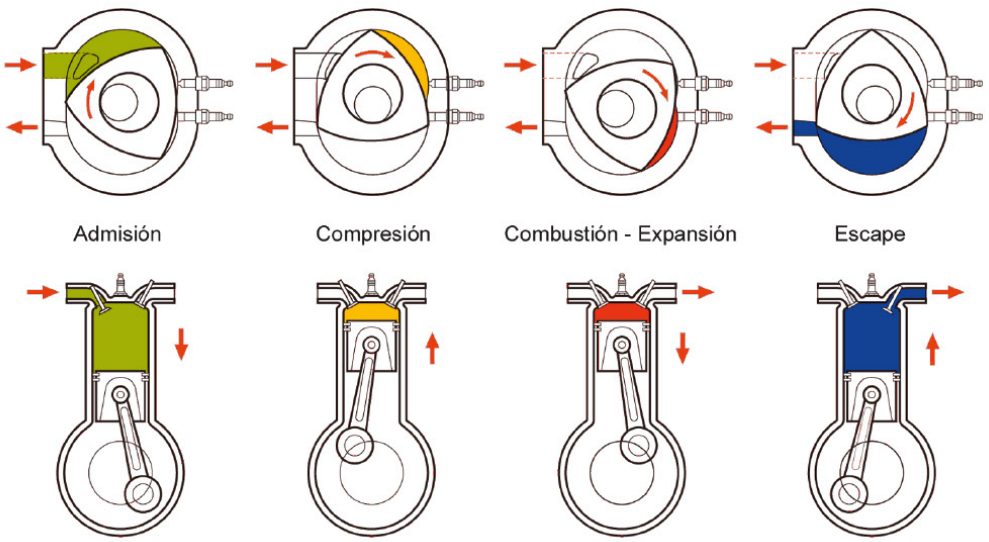


Figura A.5. *Comparación de la forma de realizar el ciclo de cuatro tiempos entre el motor rotativo y el motor alternativo.*

© Ediciones Paraninfo

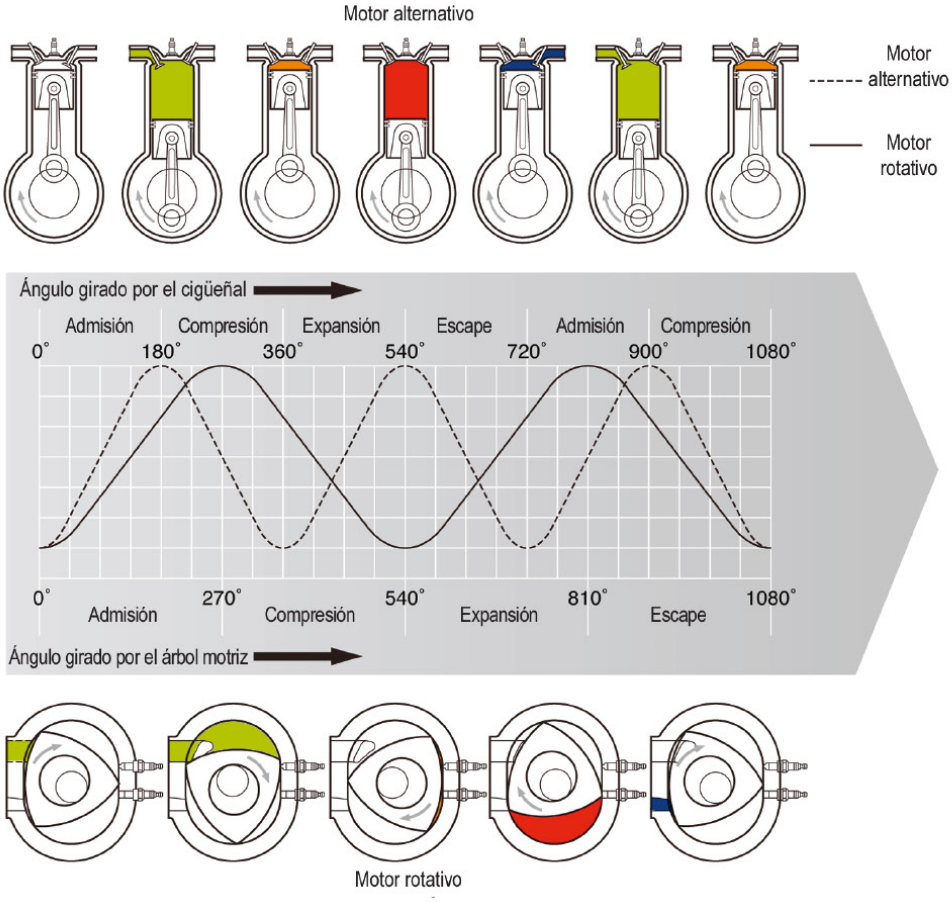


Figura A.6. *Evolución del ciclo de trabajo en el motor rotativo y el motor alternativo.*

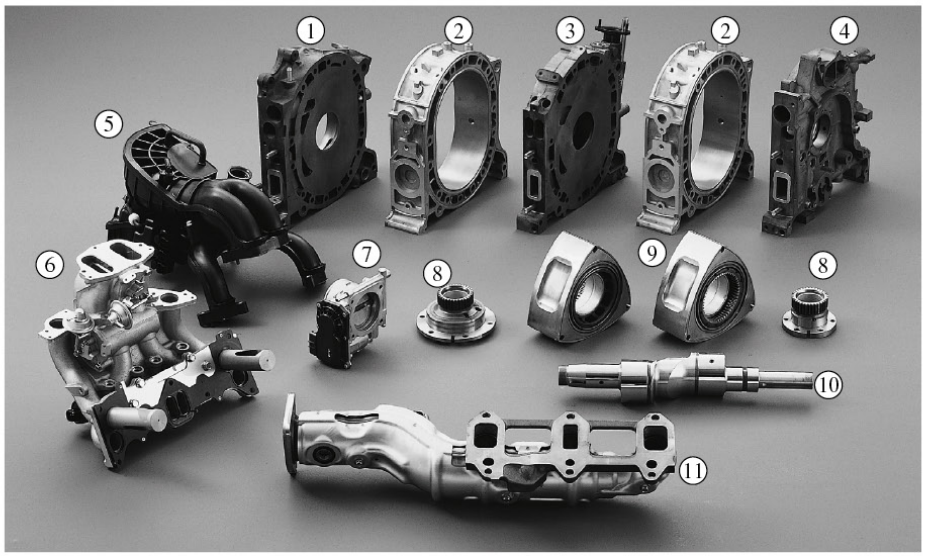
La Figura A.6 muestra cómo evoluciona el ciclo de trabajo en el motor rotativo y el motor alternativo. Como puede observarse, mientras el motor alternativo necesita 180° para realizar cada tiempo del ciclo, el motor rotativo emplea 270°, es decir, requiere 1,5 veces más tiempo. Visto de otra forma, el cigüeñal del motor alternativo necesita girar dos vueltas o 720° para completar el ciclo y el árbol motriz del motor rotativo lo hace en tres vueltas o 1080°. Por otro lado, el rotor completa el ciclo en una vuelta o 360°, confirmándose la relación de transmisión entre rotor y árbol motriz de 1/3. A la vista de esto, se puede deducir que el motor rotativo realiza el mismo ciclo en más tiempo, traduciéndose en una generación de par motor más uniforme y un funcionamiento más suave.

La Tabla A.1 representa la secuencia de tiempos de un motor rotativo de dos rotores, teniendo en cuenta que cada

TABLA A.1

Rotación del árbol de salida		1ª revolución		2ª revolución		3ª revolución	
		180°	360°	540°	720°	900°	1.080°
Rotor 1	Cámara 1	Admisión	Compresión	Expansión	Escape		
	Cámara 2	Compresión	Expansión	Escape	Admisión		
	Cámara 3		Escape	Admisión	Compresión	Expansión	
Rotor 2	Cámara 1	Expansión	Escape	Admisión	Compresión		
	Cámara 2	Escape	Admisión	Compresión	Expansión		
	Cámara 3		Compresión	Expansión	Escape	Admisión	

© Ediciones Paraninfo



1. Carcasa lateral trasera.
2. Alojamientos de los rotores.
3. Carcasa lateral central.
4. Carcasa lateral frontal.
5. Parte de plástico del colector de admisión.
6. Colector de admisión.
7. Caja de la mariposa de regulación electrónica.
8. Piñones estacionarios.
9. Rotores.
10. Árbol motriz.
11. Colector de escape.

Figura A.7. *Elementos principales de un motor rotativo de dos rotores.*

cara del rotor está en una determinada fase del ciclo. Como puede observarse, el solapamiento entre expansiones es de 90° vistos desde el punto de vista del árbol de salida. Este intervalo entre encendidos se consigue en el motor alternativo instalando ocho cilindros.

El motor rotativo, en comparación con uno alternativo, tiene un reducido número de piezas. Los elementos principales de un motor rotativo de dos rotores, son los representados en la Figura A.7.

Para mantener la estanqueidad entre las tres cámaras que forma en todo momento el rotor con la carcasa, este lleva en sus aristas unos patines que actúan como segmentos. También ha de mantener la estanqueidad en las caras laterales, por lo que en cada una de ellas lleva también tres patines. La Figura A.8 muestra estos elementos.

El motor rotativo necesita dos bujías, como puede verse en la Figura A.9, para producir la inflamación de la mezcla, por la dificultad de producir una combustión homogénea en la cámara de combustión, que es muy alargada. La bujía que se encuentra más abajo se llama conductora y la de arriba de arrastre. La primera chispa la produce la conductora comenzando a inflamar la mezcla de aire-combustible. Después se produce la chispa de la de arrastre, con un desfase de unos 10 o 15 grados, terminando con eficacia la combustión de la mezcla restante de aire-combustible.

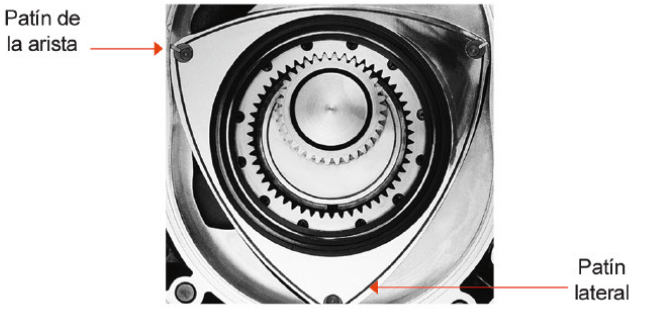


Figura A.8. *Patines para mantener la estanqueidad.*

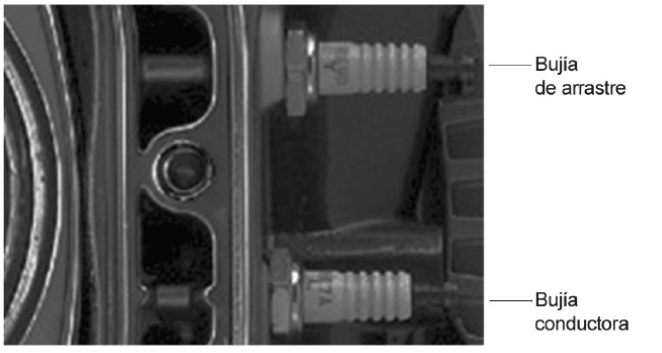


Figura A.9. *Detalle de la doble bujía del motor rotativo.*

© Ediciones Paraninfo

Los motores rotativos presentan las siguientes ventajas con respecto a los alternativos:

- **Pequeño tamaño y poco peso:** el motor rotativo con dos rotores es comparable en cuanto a suavidad de funcionamiento a uno alternativo de seis cilindros, pero pesa y ocupa un tercio menos que este.
- **Entrega de par uniforme:** por la forma que tiene de realizar el ciclo, el solapamiento entre expansiones es elevado y disminuye las fluctuaciones en la entrega de par.
- **Silencioso y suave:** al no tener mecanismo biela-manivela y prescindir del sistema de distribución, el nivel de ruido y vibración disminuye.
- **Pocos elementos constructivos:** debido fundamentalmente a la ausencia de sistema de distribución.

Entre los inconvenientes se encuentra el consumo elevado de combustible a media carga, aunque actualmente se ha mejorado instalando sistemas de admisión variable. Otra desventaja es la capacidad para mantener la estanqueidad entre las diferentes cámaras de combustión y el sistema de engrase, pudiendo producir consumo de aceite, aunque en la actualidad este fenómeno se ha reducido con la mejora de los materiales de los patines.

Una de las últimas aplicaciones del motor rotativo es el Mazda RX-8, mostrado en la Figura A.10.

Actualmente, Mazda está desarrollando un motor rotativo aplicado al RX-8, como el de la Figura A.11, capaz de funcionar con hidrógeno y gasolina. El hidrógeno es una buena alternativa para limitar las emisiones contaminantes, ya que expulsa a la atmósfera vapor de agua como único producto de la combustión. El hidrógeno es poco adecuado para usarse como combustible en motores alternativos por sobrecalentamiento en la válvula de escape, provocando el autoencendido de la mezcla al entrar en contacto con esta válvula y otros puntos calientes. Este fenómeno puede provocar a veces un retroceso de la llama por el conducto de admisión.

Para poder funcionar con este sistema de combustible dual, el motor incorpora un sistema de inyección directa de hidrógeno para cada rotor. Además, se incorporan inyectores adicionales de hidrógeno en el colector de admisión para realizar una pre-mezcla y optimizar el proceso de combustión. Cuando el sistema se queda sin hidrógeno, se conmuta al modo de gasolina, empleando los mismos inyectores que en el motor rotativo convencional.

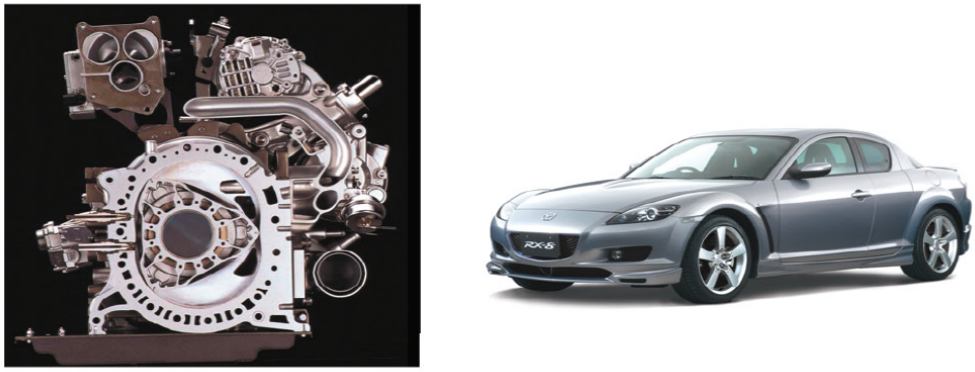


Figura A.10. *El Mazda RX-8.*

Figura A.11. *Mazda RX-8 alimentado con hidrógeno y gasolina.*

© Ediciones Paraninfo

Anexo B. El osciloscopio como herramienta de diagnóstico

El osciloscopio es una potente herramienta de diagnóstico, ya que con él se pueden ver representadas en tiempo real todas las señales eléctricas del vehículo. Estas señales pueden ser obtenidas de las siguientes formas:

- Utilizando una caja de conexiones o bornera.
- A través de los terminales de conexión de la unidad de control, sensores o actuadores.
- Directamente en los cables «pinchándolos», siendo esta última opción la menos deseable ya que consiste en introducir una sonda en forma de aguja que penetra el aislamiento.

A continuación se van a explicar las nociones básicas sobre el manejo del osciloscopio en el proceso de diagnóstico de averías en vehículos. Los aparatos de medida, sus funciones, las señales y los parámetros de ajuste variarán en función del equipo utilizado y del sistema concreto a monitorizar, debiendo considerar la explicación como una referencia. Por este motivo, antes de proceder al diagnóstico es necesario disponer del esquema eléctrico del vehículo.

Existen diferentes tipos de osciloscopios, que se pueden clasificar en dos grandes grupos, los analógicos y los digitales. Por otro lado los hay para su uso en laboratorio, portátiles, conectables a un ordenador mediante USB u otro tipo de entrada y los integrados en los propios equipos de diagnosis de vehículos. La Figura B.1 muestra diferentes tipos de osciloscopios.

Las especificaciones básicas de un osciloscopio son las siguientes:

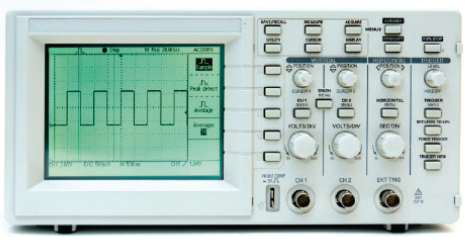
- **Número de canales:** indica la cantidad de señales que se pueden visualizar a la vez. Esto resulta útil para compararlas o comprobar la evolución de unas frente a otras.
- **Ancho de banda:** indica el rango de frecuencias en el que el osciloscopio puede medir. Por ejemplo, un osciloscopio que llegue hasta 20 MHz no podrá medir frecuencias de 40 MHz.

El osciloscopio representa en una pantalla la evolución de la tensión de una señal en función del tiempo. La pantalla se escala en divisiones sobre el eje *X* (donde se representa el tiempo) y divisiones sobre el eje *Y* (donde se representa la tensión). Así, el eje *X* se escalará en:

$$\frac{\text{Unidades de tiempo}}{\text{División}}$$

Osciloscopio de laboratorio analógico

Osciloscopio portátil digital



Osciloscopio de laboratorio digital

Osciloscopio conectable a un ordenador

Osciloscopio integrado en el equipo de diagnosis

Figura B.1. *Diferentes tipos de osciloscopios.*

© Ediciones Paraninfo

y el eje *Y* en:

$$\frac{\text{Unidades de tensión}}{\text{División}}$$

De esta forma se pueden obtener los siguientes parámetros básicos:

- **Amplitud (*A*):** es la distancia existente entre la línea cero y la máxima tensión que alcanza la señal.
- **Valor pico a pico (V_{PP}):** es la distancia que existe, en valor absoluto, entre el valor máximo positivo y el valor máximo negativo de la señal. Se mide en unidades de tensión.
- **Periodo (*T*):** es el tiempo que tarda la señal en realizar un ciclo completo, es decir, en partir desde el valor de 0 V, alcanzar su valor máximo positivo, alcanzar su valor máximo negativo pasando por la línea cero y volver al valor de 0 V. Se mide en unidades de tiempo.
- **Frecuencia (*f*):** es el número de ciclos que la señal realiza por unidad de tiempo. Si suponemos que el período o ciclo es el tiempo que tarda en darse una vuelta completa a una circunferencia, ya que la señal parte de un punto para volver a él posteriormente, la frecuencia puede expresarse en revoluciones por segundo. Se mide en hertzios (Hz), de forma que:

$$1\ \text{Hz} = \frac{1\ \text{ciclo}}{1\ \text{seg}} = \frac{1\ \text{rev}}{1\ \text{seg}}$$

- **Valor eficaz (V_{RMS}):** en el caso de señales alternas, representa un valor de tensión que produce el mismo efecto que una señal continua equivalente. Depende del tipo de señal, pero por ejemplo, para una señal sinusoidal:

$$\text{Sinusoidal } V_{RMS} = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

La Figura B.2 representa un ejemplo de señal sinusoidal y sus parámetros más importantes.

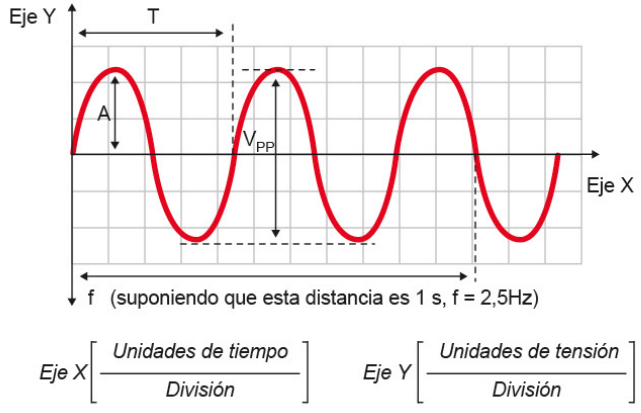


Figura B.2. *Representación de una señal sinusoidal y sus parámetros más importantes.*

Hay que decir que en función del tipo de señal se podrán obtener un número de parámetros diferentes. Las señales más importantes se resumen a continuación:

- **Sinusoidal:** constituye el caso más completo por ser una señal periódica en alterna. Un ejemplo de esta señal sería la que ofrece el sensor de régimen de giro inductivo. A continuación se extraen los parámetros de esta señal, basándose en el oscilograma de la Figura B.3. Existen señales que, aunque tengan aspecto sinusoidal, no son alternas, ya que no pasan por la línea cero. Un ejemplo de este tipo es la de la sonda lambda, que oscila entre ciertos valores de tensión, pero siempre positivos.
- **Cuadrada:** se denomina así por su forma almenada. Constituye la señal típica de los sensores de tipo Hall y de muchas señales de mando de tipo PWM (*Pulse Wide Modulation*), en las que se modula la anchura del pulso. La Figura B.4 representa una señal de mando de tipo PWM y la obtención de sus parámetros fundamentales.
- **De pulso:** estas señales son típicas, por ejemplo, de algunas electroválvulas como las de activación de los inyectores, entre otras. En la Figura B.5 puede verse la señal de activación de un inyector de gasolina convencional y sus parámetros característicos.
- **Lineal:** un ejemplo de este tipo de señal sería por ejemplo la que ofrece la tensión de batería, como indica la Figura B.6.

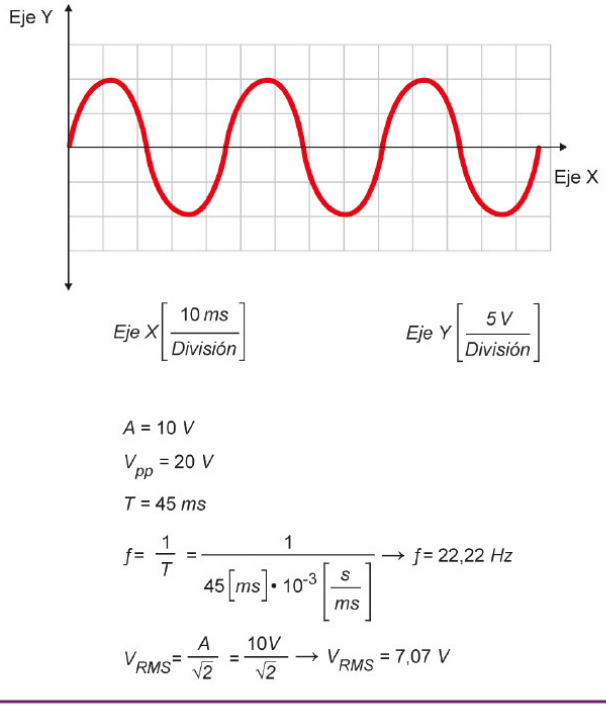


Figura B.3. *Oscilograma de una señal sinusoidal y obtención de sus parámetros más importantes.*

© Ediciones Paraninfo

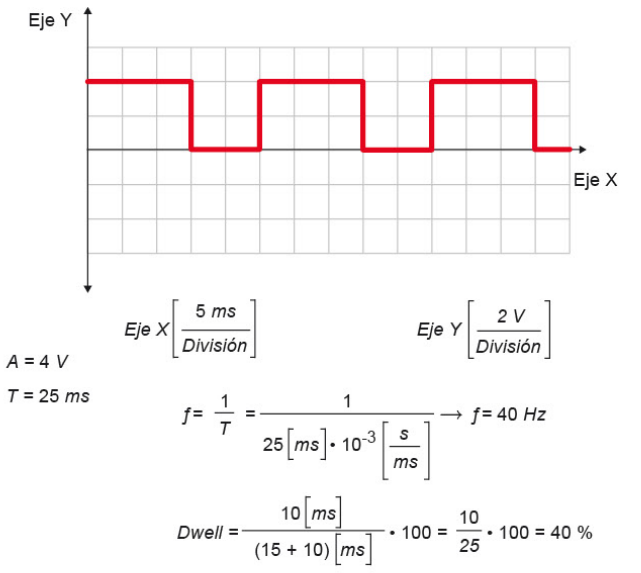


Figura B.4. *Señal de mando de tipo PWM y obtención de sus parámetros fundamentales.*

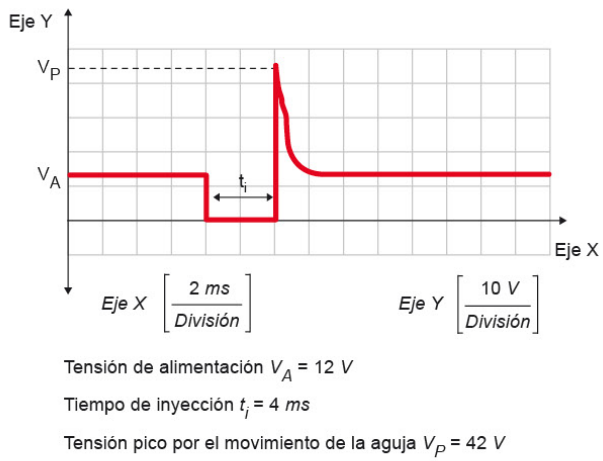


Figura B.5. *Señal de activación de un inyector de gasolina convencional y sus parámetros característicos.*

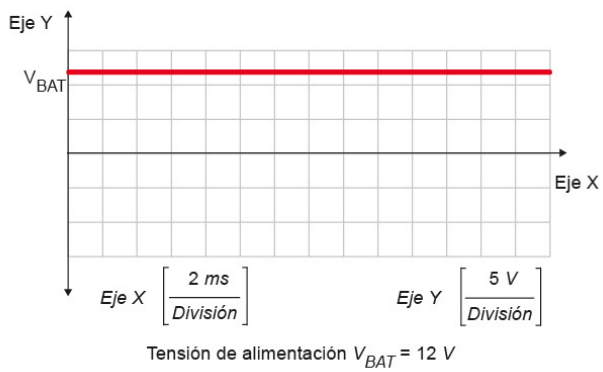


Figura B.6. *Señal lineal de tensión de batería.*

- **De evolución de un parámetro:** como por ejemplo el potenciómetro de la mariposa de gases. Se registra la evolución de la señal a lo largo del tiempo debiendo observar un funcionamiento homogéneo y sin saltos, como muestra la Figura B.7.

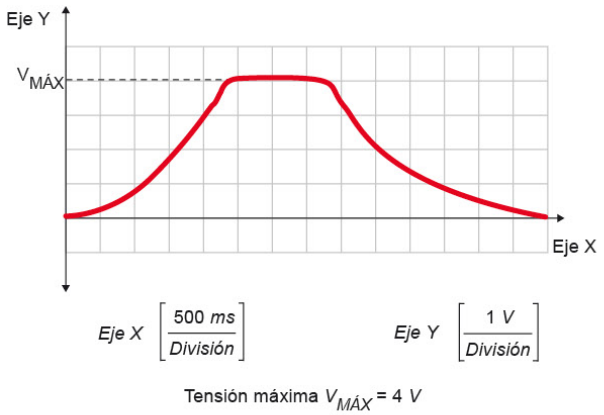


Figura B.7. *Evolución de la señal del potenciómetro de la mariposa de gases, desde su cierre hasta su apertura máxima, volviendo de nuevo a su cierre.*

Los osciloscopios digitales empleados en automoción pueden funcionar como un polímetro o como un osciloscopio propiamente dicho.

Si se quiere utilizar como polímetro, habrá que seleccionar esa opción en el menú y después indicar qué tipo de medida se quiere realizar, destacando las siguientes:

- Tensión alterna.
- Tensión eficaz.
- Continuidad.
- Capacidad de condensadores.
- Frecuencia.
- Temperatura.
- Porcentaje Dwell o Duty Cycle.
- Tensión continua.
- Resistencia.
- Prueba de diodos.
- Decibelios.
- Amperios.
- Tensión pico.

Tras seleccionar la medida, se ajusta la escala de tensión y la escala de tiempos. El valor se expresará con una serie de dígitos y de forma gráfica.

Para funcionar como osciloscopio hay que seleccionar esta opción y seguir los siguientes pasos:

- **Seleccionar los canales de entrada:** dependerá de la cantidad de señales que se quieran registrar a la vez y del número de canales de los que dispone el osciloscopio. Posteriormente habrá que configurar cada canal individualmente para poder visualizar las señales de forma correcta.
- **Visualizar la señal:** si no se conocen los valores de escala del eje *X* y del eje *Y* para poder visualizar la señal correctamente, los osciloscopios digitales incorporan una función denominada AUTO RANGO, que optimiza la posición, el

© Ediciones Paraninfo

rango, la base de tiempos y el disparo, garantizando una presentación estable. No obstante, con esta función no se obtienen los detalles deseados. Para personalizar la visualización de la señal se puede variar la escala de tiempos. La escala de los ejes se puede variar en intervalos discretos, por ejemplo, entre 20 ns/div y 5 s/div para el eje del tiempo, y entre 5 mV/div y 500 V/div para el eje de tensión. Por otro lado, la señal se puede desplazar de izquierda a derecha y arriba y abajo, pulsando sobre los botones (cursores) que tienen dibujadas las flechas que indican la dirección y el sentido hacia donde se quiere desplazar.

- **Ajustar el *trigger*:** otra operación que se puede hacer para personalizar la presentación de la señal es el ajuste del *trigger* o disparo. Consiste en determinar el momento en el que comienza la visualización de la señal. Así, la imagen queda estabilizada para poder ser analizada. El osciloscopio tiene marcada una base de tiempos sobre la que se efectúa el muestreo de la señal. El *trigger* sincroniza esa base de tiempos con el comienzo de la señal. Existen diferentes formas de ajuste del *trigger*:
  - **En el modo *AUTO RANGO*:** el dispositivo establece un *trigger* automático que puede provocar una visualización inestable o de una parte de la señal que no interesa analizar.
  - **En el modo *MANUAL*:** se puede establecer el nivel de tensión a partir del cual comienza a representarse la señal, así como el flanco, es decir, si ese valor de tensión se alcanza de forma ascendente o descendente. Esto puede ser necesario para visualizar correctamente, por ejemplo, la señal de activación de un inyector de un motor de gasolina convencional. Una vez ajustado el *trigger* de esta forma, el osciloscopio irá actualizando la señal una y otra vez en las mismas condiciones. Cuando se visualiza más de una señal, hay que indicar sobre cuál de ellas se establece la condición de disparo, mediante la función SOURCE. Por último, el *trigger* puede ser externo, conectándose al osciloscopio a través de una entrada denominada EXT.
  - **En el modo de disparo individual o *SINGLE SHOT*:** se pueden hacer los mismos ajustes que en el modo manual, pero la señal se representará solo una vez. Para actualizar la señal hay que pulsar la tecla REPEAT.

La Figura B.8 muestra el concepto del *trigger* y su modo de ajuste.

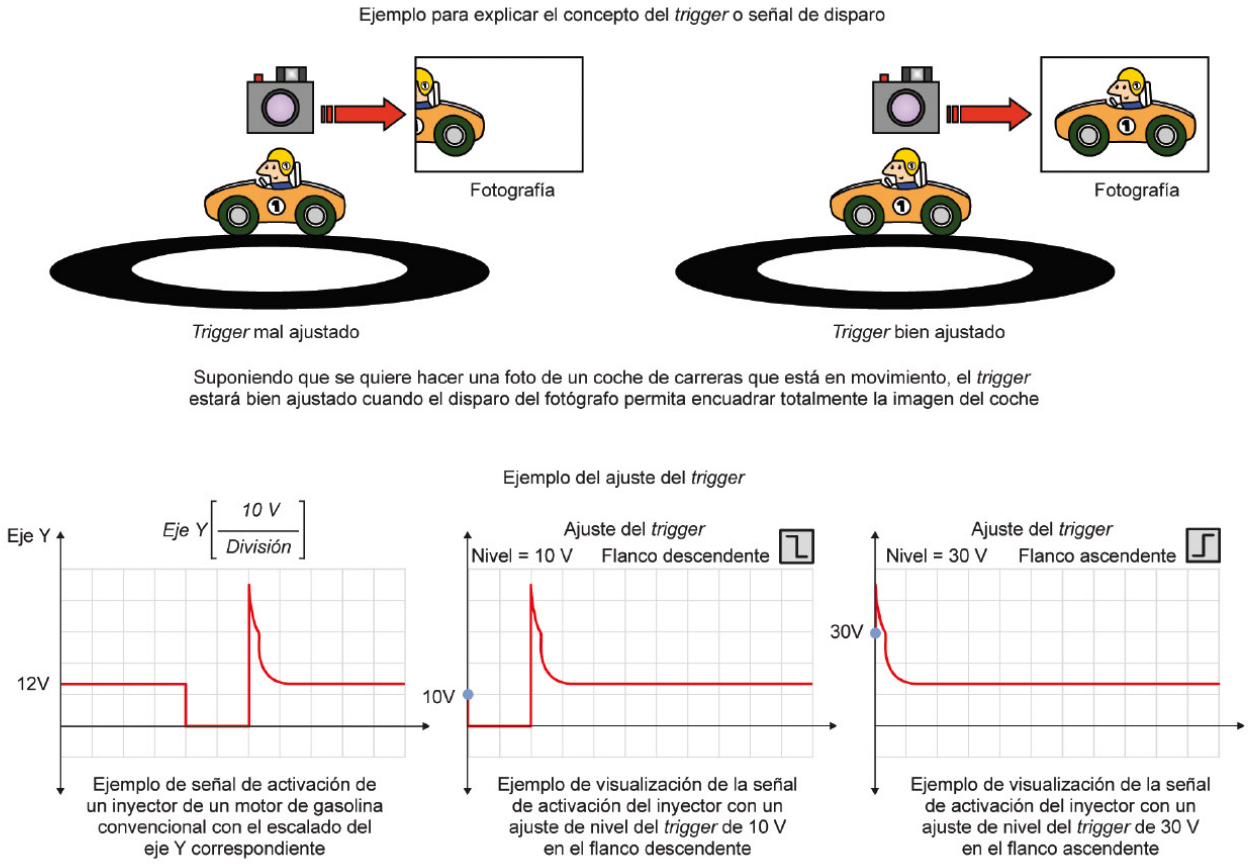


Figura B.8. *Concepto de trigger y su modo de ajuste.*

© Ediciones Paraninfo

Figura B.9. *Accesorios comunes del osciloscopio para su uso en automoción.*

- **Otras funciones:** el osciloscopio puede incorporar funciones como la de suavizado o SMOOTH, para ofrecer una señal más limpia filtrando el ruido. Otras funciones permiten congelar la pantalla, imprimir el oscilograma, guardar y recuperar la señal registrada…

Los accesorios más habituales del osciloscopio para su uso en automoción, agrupados en la Figura B.9, son los siguientes:

- **Sondas y puntas:** se emplean para tomar las señales y cada una de ellas se conecta a un canal del osciloscopio. Pueden incluir un atenuador, que por ejemplo, si indica × 10 y se selecciona, la señal es atenuada 10 veces, por lo que los valores de tensión habrá que multiplicarlos por diez para obtener la magnitud real. Si se mantiene × 1, los valores de tensión representados son los reales. Junto al selector de atenuación se encuentra un tornillo de ajuste para calibrar la sonda al cero del osciloscopio. Las sondas pueden incorporar una pinza de masa. Las puntas pueden ser intercambiables según la necesidad, pudiendo ser puntas simples, puntas finas para pinchar cables, pinzas de cocodrilo…
- **Cable para medir la tensión de encendido en el secundario:** este accesorio puede ser inductivo o capacitivo y se utiliza para leer valores de tensión superiores a los que admite el osciloscopio, como por ejemplo los del secundario. Puede emplearse también como *trigger* para las medidas realizadas sobre el sistema de encendido.
- **Pinza amperimétrica:** consiste en una sonda, de tipo inductivo, que permite transformar valores de corriente, normalmente elevados, en valores de tensión que pueden representarse en el osciloscopio. Por ello es muy importante el factor de conversión del dispositivo. Una pinza amperimétrica con un factor de conversión de 1 mV/A significa que por cada mV representado en el osciloscopio, por el cable circula 1 A. Incorpora un potenciómetro de ajuste para su calibrado. La pinza amperimétrica se puede emplear, por ejemplo, para medir la corriente que consumen los calentadores de un motor diésel.

A continuación, en la Tabla B.1, se representan a modo de referencia los tipos de señales y escalas adecuadas de los ejes *X* e *Y*, de los dispositivos más importantes de los motores térmicos y sus sistemas auxiliares.

TABLA B.1.

Tabla que reúne los tipos de señales y escalas adecuadas de los ejes *X* e *Y* de los dispositivos más importantes de los motores térmicos y sus sistemas auxiliares.

Dispositivo	Señal	Escala del eje *X*	Escala del eje *Y*
Tensión del primario del encendido	De encendido	1 ms/div - 5 ms/div	20 V/div - 50 V/div
Tensión del secundario del encendido	De encendido	1 ms/div - 5 ms/div	2 kV/div - 5 kV/div
Sensores de tipo Hall	Cuadrada	2 ms/div - 10 ms/div	2 V/div - 5 V/div
Sensor inductivo	Sinusoidal	5 ms/div - 10 ms/div	5 V/div
Sensor de picado	Alterna	1 ms/div	200 mV/div

© Ediciones Paraninfo

Sonda lambda de salto	Oscilante en continua	1 ms/div	200 mV/div
Sonda lambda de banda ancha	Oscilante en continua	1 s/div	1 V/div
CAN - Bus	Cuadrada	20 μs/div	1 V/div
Inyector de gasolina convencional	Impulso	2 ms/div	10 V/div
Inyector de gasolina de inyección directa	Impulso	0,5 ms/div - 1 ms/div	20 V/div
Inyector - Bomba electromagnético	Impulso	1 ms/div	10 V/div
Inyector - Bomba piezoeléctrico	Impulso	2 ms/div	20 V/div
Inyector diésel *common rail* electromagnético	Impulso	1 ms/div	20 V/div
Inyector diésel *common rail* piezoeléctrico	Impulso	1 ms/div - 2 ms/div	50 V/div
Electroválvulas	Cuadrada PWM	2 ms/div - 50 ms/div	2 V/div - 10 V/div
Motor eléctrico de la mariposa de gases	Cuadrada	100 μs/div - 5 ms/div	2 V/div - 5 V/div
Regulador de presión de combustible en diésel *common rail*	Cuadrada	2 ms/div	5 V/div

© Ediciones Paraninfo

Anexo C. Diccionario técnico de motores (inglés-español)

A

A/C condenser: *condensador del aire acondicionado*
A/C hose: *manguera del aire acondicionado*
A/C refrigerant: *refrigerante del aire acondicionado*
accelerate: *acelerar*
acceleration: *aceleración*
accelerator pump: *bomba de aceleración*
accessory: *accesorio*
acid: *ácido*
activate: *activar*
activator: *activador*
actuating lever: *palanca actuadora*
actuator: *actuador*
adapter: *adaptador*
adhesive: *adhesivo, pegamento*
adjust: *ajustar*
adjustment: *ajuste*
adjustment screw: *tornillo de ajuste*
advanced: *avanzado afectar*
after top dead center (ATDC): *después del punto muerto superior*
aftercooler: *post enfriador*
air: *aire*
air bleed: *purgador de aire*
air cleaner: *purificador de aire*
air compressor: *compresor de aire*
air conditioning (A/C): *aire acondicionado (A/C)*
air filter: *filtro de aire*
air filter housing: *caja del filtro de aire*
air flow: *flujo de aire*
air hose: *manguito de aire*
air injection: *inyección de aire*
air intake: *admisión de aire*
air intake temperature: *temperatura del aire admitido*
air/fuel mixture: *mezcla de aire/combustible*
air/fuel ratio: *relación de aire/combustible*
airflow: *flujo de aire*
airflow sensor (airflow meter): *sensor para el flujo del aire*
align: *alinear*
alloy: *aleación*
alternating current (AC): *corriente alterna (AC)*
alternator: *alternador*
alternator belt: *correa del alternador*
ammeter: *amperímetro*
amplifier: *amplificador*
amps: *amperios*
analog: *analógico*
analyze: *analizar*
analyzer: *analizador*
anchor pin: *perno de anclaje*
antifreeze: *anticongelante*
apply: *aplicar*
assembly: *ensamble*
automatic: *automático*
automatic drain: *drenaje automático*
automatic transmission: *transmisión automática*
automatic transmission fluid (ATF): *aceite de la transmisión automática*
auxiliary: *auxiliar*
avoid: *evitar*
axle: *eje*
axle shaft: *eje propulsor*

B

babbitt: *aleación de metales para los cojinetes (metales)*
back pressure: *contrapresión*
backlash: *juego libre*
backup light: *luz de marcha atrás*
bad: *dañado*
baffle plate: *plato deflector*
balance shaft: *eje equilibrador*
ball bearing: *rodamiento de bolas*
ball joint: *rótula*
barely: *escasamente*
barometric pressure: *presión barométrica*
base ignition timing: *tiempo base de encendido*
battery: *batería*
battery box: *caja de la batería*
battery cable: *cable de batería*
battery cable clamp: *terminal para el cable de la batería*
battery positive voltage (B+): *voltaje positivo de la batería (B+)*
bearing: *cojinete*
before top dead center (BTDC): *antes del punto muerto superior*
bell crank: *manivela*
bellhousing: *campana*
bellows: *botas protectoras*
below: *abajo*
belt: *corre*
belt tension: *tensión de la correa*
belt tensioner: *tensor de la correa*
bend: *doblar*
best: *mejor*
beyond: *por encima*
bi-fuel vehicle (dual fuel vehicle): *vehículo de dos combustibles*
bleed: *sangrar (purgar)*
bleeder: *sangrador (purgador)*
blend: *mezclar*
blind hole: *orificio ciego*
block: *bloque*
blower: *ventilador*
blown bulb: *bombilla fundida*
blown fuse: *fusible fundido*
bobweight: *contrapeso para el muñón*
body: *carrocería*
body control module: *módulo de control de la carrocería*
boil: *ebullir*
bolt: *tornillo*
booming noise: *ruido de baja frecuencia*
boost: *amplificación*
boost pressure (BP): *presión de sobrealimentación*
boot: *cubrepolvo*
bore: *diámetro de un cilindro*
bottom: *fondo*
bottom dead center BDC: *punto muerto inferior*
bracket: *brazo de soporte*
brake: *freno*
brake drum: *tambor de freno*
brake fluid: *líquido de freno*
brake hose: *latiguillo de freno*
brake light switch: *interruptor de la luz de frenos*
brake pad: *pastilla (balata/pad)*
brake pedal: *pedal del freno*
brake rotor: *disco del freno*
brake shoe: *zapata de freno*
breather: *respirador*
broken: *roto*
bumper: *parachoques*
burnish: *bruñir*
bushing: *buje (bushing)*
buzzer: *zumbador*
bypass: *desvío*

© Ediciones Paraninfo

C

cage: *caja*
calibration: *calibración*
caliper: *mordaza*
cam: *árbol de levas*
cam bearing: *cojinete del árbol de levas*
cam bearing cap: *tapa para el cojinete del árbol de levas*
cam follower: *seguidor del árbol de levas*
cam gear: *engrane del árbol de levas*
cam journal: *muñón del árbol de levas*
cam lobe: *lóbulo del árbol de levas*
cam timing: *tiempo del árbol de levas*
camshaft: *árbol de levas*
canister purge valve: *válvula para la purga del cánister*
cap: *tapón*
capacitor: *condensador*
capacity: *capacidad*
carbureted: *carburado*
carburetor: *carburador*
cartridge: *cartucho*
case: *cuerpo*
cast iron: *hierro fundido*
casting: *fundición*
catalog: *catálogo*
catalytic converter: *convertidor catalítico*
caulk: *sellador*
center: *centrar*
centrifugal advance: *avance centrífugo*
cetane: *cetano*
chain: *cadena*
chamber: *cámara*
channel: *canal*
check: *verificar*
choke: *estrangulador*
circuit: *circuito*
clean *limpiar*
clip: *gancho*
clock position: *posición del reloj*
clockwise: *rotar en el sentido de las agujas del reloj*
closed loop: *ciclo cerrado*
cluster gear: *tren de engranaje*
clutch: *embrague*
clutch bearing: *rodamiento del embrague*
clutch cable: *cable del embrague*
clutch disc: *disco del embrague*
clutch fork: *horquilla del embrague*
clutch hub: *maza del embrague*
clutch linkage: *varillas del embrague*
coast: *marchar libremente*
coat: *cubrir*
coax cable: *cable coaxial*
cocked: *ladeado*
code: *código*
coil: *bobina*
coil pack: *juego de bobinas*
cold: *frío*
cold engine: *motor frío*
cold start: *arranque en frío*
cold start injector: *inyector para el arranque en frío*
combustion chamber: *cámara de combustión*
common ground: *conexión a tierra en común*
commutator: *conmutador*
compare: *comparar*
compatibility: *compatibilidad*
compensate: *compensar*
component: *componente*
compress. *comprimir*
compressed air: *aire comprimido*
compression: *compresión*
compression gauge*: medidor de la compresión*
compression ratio: *relación de la compresión*
compression ring: *segmento de compresión*
compression stroke: *carrera de compresión*
compressor: *compresor*
computer: *computadora*
computer-controlled: *controlado por computadora*
condense: *condensar*
cone bearing: *rodamiento cónico*
cone washer: *arandela cónica*
connecting rod: *biela*
connecting rod bearing: *cojinete de la biela*
connecting rod cap: *tapa de la biela*
constant velocity joint: *junta homocinética*
consumption: *consumo*
container: *recipiente*
contaminate: *contaminar*
continuity: *continuidad*
control valve: *válvula de control*
converter: *convertidor*
cool: *fresco*
coolant: *refrigerante*
coolant level: *nivel del refrigerante*
coolant protection level: *nivel de protección del refrigerante*
coolant temperature sensor: *sensor de la temperatura del refrigerante*
coolant temperature switch: *interruptor de la temperatura del refrigerante de motor*
coolan: *refrigerante de motor*
cooling fan: *ventilador de enfriamiento*
cooling system: *sistema de enfriamiento*
cord: *cuerda*
core: *núcleo*
correct: *corregir*
cotter pin: *pasador, chaveta*
counterbalance: *contraequilibrado*
counterclockwise: *en el sentido contrario de las agujas del reloj*
counterweight: *contrapeso*
coupler: *acoplador*
cover: *cubierta*
cracks: *grietas*
crank: *arrancar, poner en marcha*
crankcase: *cárter*
crankcase breather: *respiradero del cárter del cigüeñal*
crankcase pressure: *presión del cárter del cigüeñal*
cranking: *arrancando, poner en marcha el motor*
crankshaft: *cigüeñal*
crankshaft gear: *engranaje del cigüeñal*
crankshaft journal: *muñón del cigüeñal*
crash sensor: *sensor de impacto*
cross reference: *referencia cruzada*
crown: *corona*
cruise control: *control de la velocidad de crucero*
cruise control switch: *interruptor del control de la velocidad de crucero*
current: *corriente*
cut-in: *activar*
cycle: *ciclo*
cylinder: *cilindro*
cylinder block: *bloque del motor*
cylinder bore taper: *conicidad del cilindro*
cylinder bores: *paredes de los cilindros*
cylinder head: *culata*
cylinder head cover: *tapa de balancines*
cylinder liner: *camisa de los cilindros*
cylinder wall: *pared del cilindro*

D

damage: *daño*
damper: *amortiguador*
dash panel: *tablero de instrumentos*
dash cover: *cubierta del tablero*
dash lights: *luces del tablero de instrumentos*
data: *datos*
data link connector (DLC): *conector para extraer datos*
DC voltage: *voltaje de corriente directa*
deceleration: *desaceleración*
deform: *deformar*

© Ediciones Paraninfo

degrees: *grados*
deposit: *depósito*
depressurize: *despresurizar*
depth: *profundidad*
detonation (knock): *detonación (golpe de chispa)*
diagnose: *diagnosticar*
diagnostic tool: *herramienta de diagnóstico*
diagnostic trouble code (DTC): *código de falla de diagnóstico (DTC)*
diagram: *diagrama*
dial indicator: *indicador de reloj*
diameter: *diámetro*
diaphragm: *diafragma*
diesel engine: *motor diésel*
differential: *diferencial*
digital dash: *tablero digital*
digital multimeter (DMM): *multímetro digital (DMM)*
diode: *diodo*
dip stick: *varilla para medir el nivel de aceite*
disable: *inhabilitar*
disassemble: *desarmar*
disc facing: *cara del disco*
discharge: *descarga*
disengage: *desengranar*
displacement: *desplazamiento*
dissipate: *disipar*
distribution: *distribución*
distributor: *distribuidor*
distributor cap: *tapa del distribuidor*
distributor gear: *engranaje del distribuidor*
distributor ignition: *encendido con distribuidor*
distributor pickup: *captador del distribuidor*
distributor rotor: *rotor del distribuidor*
distributor shaft: *eje del distribuidor*
distributorless: *sin distribuidor*
door: *puerta*
dowel pin: *pasador de alineación*
downshift: *cambio hacia abajo*
drain: *drenar*
drain back: *drenaje*
drive: *conducir*
drive axle: *eje de propulsión*
driver: *conductor*
drop: *caída*
dry: *seco*
dual overhead cam (DOHC): *doble árbol de levas en culata*
duct: *conducto*
dust shield: *guardapolvo*
duty cycle: *ciclo de duración*
dynamic balance: *equilibrado dinámico*
dynamometer: *dinamómetro*

E

eccentric: *excéntrico*
edge: *borde*
EGR valve: *válvula EGR*
electric cooling fan: *ventilador de enfriamiento eléctrico*
electric fuel pump: *bomba eléctrica del combustible*
electrical: *eléctrico*
electrode: *electrodo*
electronic: *electrónico*
electronic control module (ECM): *módulo de control electrónico*
electronic control unit (ECU): *unidad de control electrónica*
electronic ignition: *encendido electrónico*
electronic unit injector (EUI): *unidad de inyección electrónica*
electronically controlled: *controlado electrónicamente*
emission test: *prueba de emisiones*
emissions: *emisiones*
end play: *juego longitudinal*
engage: *engranar*
engagement: *acoplamiento*
engine: *motor*
engine block: *bloque del motor*
engine brake: *freno de motor*
engine coolant: *refrigerante del motor (coolant)*
engine cradle: *subchasis del motor*
engine mount: *soporte del motor*
engine overhaul: *reacondicionamiento de un motor*
engine performance: *rendimiento de motor*
engine position sensor: *sensor de posición del motor*
engine speed: *velocidad del motor*
engine vacuum: *vacío del motor*
enrichment: *enriquecimiento*
ethylene glycol: *etilenoglicol*
evaporate: *evaporar*
evaporator: *evaporador*
excessive play: *juego excesivo*
exchange: *intercambiar*
exhaust: *escape*
exhaust emissions: *emisiones del escape*
exhaust gas analyzer: *analizador de los gases del escape*
exhaust manifold: *múltiple de escape*
exhaust pipe: *tubo de escape*
exhaust stroke: *tiempo de escape*
exhaust system: *sistema de escape*
exhaust valve: *válvula de escape*
expansion tank: *tanque de expansión*
expansion valve: *válvula de expansión*

F

face: *cara*
fail: *fallar*
failure: *fallo*
failure mode identifier (FMI): *identificador del modo de falla*
fan: *ventilador*
fast charge: *carga rápida*
fast idle: *ralentí rápido*
fastener: *pasador, tornillo, perno*
fault code: *código de fallo*
feed: *alimentar*
feedback: *retroalimentación*
fiberglass: *fibra de vidrio*
field: *campo*
filament: *filamento*
file: *limar*
fill: *llenar*
filter: *filtro*
filter cartridge: *filtro tipo cartucho*
final drive: *diferencial, mando final*
finish: *finalizar, acabado*
fins: *aletas*
fire ring: *segmento de fuego*
fire ring grove: *ranura del segmento de fuego*
flame speed: *velocidad de la llama*
flange: *pestaña, brida*
flash code: *código de destello*
fleet: *flota*
float: *flotador*
floating: *flotante*
flow: *flujo*
flow rate: *velocidad del flujo*
flushing agent: *agente limpiador*
flywheel: *volante de inercia*
flywheel ring gear: *aro dentado del volante de inercia*
foam: *espuma*
follower: *seguidor*
fork: *horquilla*
four cycle engine: *motor de cuatro tiempos*
four wheel antilock brakes: *frenos antibloqueantes en las cuatro ruedas*
four wheel drive (4WD): *tracción en las cuatro ruedas tracción 4x4*
four wheel steering (4WS): *dirección en las cuatro ruedas*
frame: *chasis, estructura, bastidor*
free length: *altura libre*
free play: *juego libre*
freewheel: *rodamiento libre*
freeze: *congelar*
freeze plug: *tapones del bloque del motor*
frequency: *frecuencia*
friction: *fricción*

© Ediciones Paraninfo

friction clutch: *embrague de fricción*
friction material: *material de fricción*
front: *delantero*
front cradle: *subchasis delantero*
fuel: *combustible*
fuel cap: *tapa del combustible*
fuel dilution: *dilución del combustible*
fuel filter: *filtro de combustible*
fuel gauge: *indicador de combustible*
fuel hose: *manguera para el combustible*
fuel injection: *inyección de combustible*
fuel injector: *inyector de combustible*
fuel line: *línea de combustible*
fuel mixture: *mezcla del combustible*
fuel pressure: *presión del combustible*
fuel pressure gauge: *manómetro de presión del combustible*
fuel pressure regulator: *regulador de presión de combustible*
fuel pump: *bomba del combustible*
fuel pump relay: *relé para la bomba del combustible*
fuel return line: *línea de retorno del combustible*
fuel tank: *tanque del combustible*
fully loaded: *carga máxima*
fuse: *fusible*
fuse block: *caja de fusibles*

G

gas welding: *soldadura con gas*
gas-filled strut: *amortiguador de gas del capó*
gasket: *junta*
gasoline engine: *motor de gasolina*
gauge: *indicador, medidor, reloj del tablero*
gear: *engranaje*
gear box: *caja de cambios*
gear train: *tren de engranajes*
generator: *alternador*
glazed: *cristalizado*
glazed brake linings: *material de fricción de freno cristalizado*
glow: *brillar*
glow plug: *bujía de encendido para motor diesel*
go/no-go: *pasa/no pasa*
goggles: *gafas de seguridad*
gouge: *ranura*
governor: *gobernador*
governor pressure: *presión de mando*
grams per mile (g/mi): *gramos por milla*
grease: *grasa*
grease retainer: *retenedor de grasa*
grill: *parrilla*
grind: *esmerilar*
grinder: *esmeriladora*
grit sand paper: *grado del papel de lija*
groove: *ranura*
gross: *grueso, bruto*
ground: *tierra*
grounded: *puesto a tierra*
guide: *guía*
guide pin: *perno de guía*

H

half shaft: *semieje*
hall-effect pickup: *captador de tipo efecto Hall*
hammer: *martillo*
hand brake: *freno de mano*
hard acceleration: *aceleración a fondo*
hard starting: *difícil de arrancar*
hardener: *endurecedor*
harmonic balancer: *balanceador armónico*
harness: *cableado*
hazardous: *peligroso*
head: *culata*
head bolt: *tornillo de la culata*
head gasket: *junta de la culata*
heat: *calentar*
heat shrink: *aislador térmico*
heated oxygen sensor (HO_2S): *sensor de oxígeno calentado*
heater: *calefactor*
heating element: *elemento calentador*
heavy-duty: *para uso pesado*
height: *altura*
height control valve: *válvula de control de la altura*
high blower relay: *relé para la velocidad alta del ventilador*
high impedance voltmeter: *voltímetro de alta impedancia*
high pressure gauge: *manómetro de alta presión*
high pressure line: *línea de alta presión*
high pressure switch: *interruptor de alta presión*
high pressure system: *sistema de alta presión*
hinge: *bisagra*
hiss: *silbido, siseo*
hold: *sostener*
hold-down: *detener hacia abajo*
hold-off valve: *válvula de detención*
hole: *orificio*
hone: *bruñir*
hood: *capó*
horn: *bocina, claxon*
horn relay: *relé de la bocina*
horsepower: *caballo de fuerza*
horsepower rating: *clasificación de los caballos de fuerza*
hose: *manguera, manguito*
hot: *caliente*
housing: *caja, alojamiento*
howling: *zumbido*
hub: *maza*
hum: *sonido de frecuencia baja*
humidity: *humedad*
humming: *zumbido*
hydraulic: *hidráulico*
hydraulic circuit: *circuito hidráulico*
hydraulic lash adjusters (HLA): *ajustadores de juego libre hidráulicos*
hydrocarbons (HC): *hidrocarburos*
hydrometer: *hidrómetro*
hygroscopic: *higroscópico*

I

icing: *helar*
identify: *identificar*
idle: *marcha mínima, ralentí*
idle air bypass: *desvío del aire para la marcha mínima*
idle air control (IAC): *control para la marcha mínima*
idle air control valve: *válvula de control de la marcha mínima*
idle mixture: *mezcla para la marcha mínima*
idle mixture needle (screw): *tornillo para la mezcla de la marcha mínima*
idle speed: *velocidad de la marcha mínima*
idle speed control: *control de la velocidad de la marcha mínima Control de la velocidad del ralentí*
idler gear: *engranaje loco*
idler pulley: *polea loca, polea intermedia*
idle-up circuit: *sistema de control de aumento de marcha mínima*
idling: *en marcha mínima*
ignition: *encendido*
ignition coil: *bobina de encendido*
ignition module: *módulo de encendido*
ignition pickup: *captador de señal de encendido*
ignition pickup sensor: *sensor captador de señal de encendido*
ignition switch: *interruptor de encendido*
ignition timing: *tiempo de encendido*
illuminate: *iluminar*
impact sensors: *sensores de impacto*
impact wrench: *llave de impacto*

© Ediciones Paraninfo

impedance: *impedancia*
impeller: *impulsor*
improper: *inadecuado*
impulse: *impulso*
in gear: *en velocidad*
incandescent: *incandescente*
inch (in.): *pulgada*
incorrect: *incorrecto*
increase: *aumentar*
index: *alinear*
indicator: *indicador*
induction: *inducción*
inductive: *inductivo*
inductive current pickup: *captador inductivo de corriente*
inertia switch: *interruptor por inercia*
injection: *inyección*
injection pump: *bomba de inyección*
injector: *inyector*
injector nozzle: *tobera del inyector*
injector pulse: *pulso del inyector*
injector pulse width: *duración de pulso del inyector*
injector tip: *punta del inyector*
inlet port: *puerto de admisión*
in-line engine: *motor con cilindros en línea*
in-line filter: *filtro en línea*
inline injection pump: *bomba de inyección en línea*
inner: *interno*
inputs: *señales de entrada*
inside: *interior*
inside diameter (ID): *diámetro interno*
inside hole gauge: *calibrador de interiores*
inspect: *inspeccionar*
install: *instalar*
instrument cluster: *tablero de instrumentos*
instrument panel: *tablero de instrumentos*
insulated: *aislado*
insulation: *material aislante*
insulator: *aislador*
intake air temperature (IAT): *temperatura del aire entrante*
intake manifold: *colector de admisión*
intake stroke: *tiempo de admisión*
intake valve: *válvula de admisión*
integrated circuit: *circuito integrado*
interaxle differential: *diferencial divisor de potencia entre ejes tándem*
intercooler: *interenfriador*
interference: *interferencia*
intermittent: *intermitente*
internal: *interno*
International Standards Organization (ISO): *Organización para los Estándares Internacionales (ISO)*
in-vehicle temperature sensor: *sensor de temperatura en el vehículo*

J

jack: *gato*
jack stand: *torre, soporte ajustable*
jammed: *atorada*
joint: *unión*
jounce: *rebotar*
jounce bumper: *tope de goma para rebotes*
journal: *muñón*
jump: *saltar*
jumper: *puente*
jumper wire: *puente eléctrico*

K

k ohms (kΩ): *k ohmios (kΩ)*
kerosene: *queroseno*
key switch: *interruptor de encendido*
key-off: *llave de encendido en la posición apagada*
key-on: *llave de encendido en la posición encendida*
key-operated: *operado por la llave*
kill: *cancelar*
kilovolt (kV): *kilovoltio (kV)*
king pin: *eje pivote de la dirección*
kinked: *retorcido*
kit: *juego*
knock (detonation): *golpe de chispa (detonación)*
knock sensor: *sensor de detonación*
knocking: *golpeando, detonando*
knocking noise: *golpeteo*

L

lab scope: *osciloscopio*
lamp: *luz*
lap: *asentar*
lash: *juego libre*
lash adjuster: *ajustador del juego libre*
lash cap: *asiento de válvula*
latch: *chapa*
lateral runout: *desviación lateral*
lathe: *torno*
leads: *cables*
leaf: *hoja*
leak: *fuga, pérdida*
leakage: *fuga, pérdida*
lean (A/F ratio): *mezcla pobre*
length: *longitud*
lens: *lente*
level: *nivel*
level indicator sensor: *sensor del indicador de nivel*
lever: *palanca*
lift: *elevar*
lifter: *botador*
light: *luz*
light emitting diode (LED): *diodo emisor de luz*
light truck: *camión ligero*
limit: *límite*
limited slip differential: *diferencial de deslizamiento limitado*
line: *línea*
line pressure: *presión de la línea*
lined up: *alineado*
liner: *camisa, forro*
link: *varilla*
linkage: *varillaje*
lip seal: *sello tipo labio, retén*
liquefied natural gas (LNG): *gas líquido natural (GLN)*
liquefied petroleum gas (LPG) (propane): *gas licuado de propano (GLP)*
liquid: *líquido*
liquid cooled engine: *motor enfriado por líquido*
lithium grease: *grasa de litio*
live circuit: *circuito con corriente*
load: *carga*
loaded: *cargado*
lobe: *lóbulo*
lock: *seguro*
lock ring: *anillo de cierre*
lock up: *amarrar*
locked-up: *atorado*
locking differential: *diferencial de bloqueo*
locknut: *tuerca de seguridad*
loose: *flojo, suelto*
loosen: *aflojar*
loses power: *pierde potencia*
low pressure gauge: *manómetro de baja presión*
low pressure switch: *interruptor de baja presión*
low pressure system: *sistema de baja presión*
low refrigerant level: *nivel bajo del refrigerante*
low-load: *baja carga*
low-pressure fuel shut-off solenoid: *solenoide para cerrar el combustible de baja presión*
lubricant: *lubricante*

© Ediciones Paraninfo

lubricate: *lubricar*
lug: *espárrago*
lugging: *forzándose*

M

machine: *rectificar*
magnet: *imán*
magnetic: *magnético*
magnetic encoder: *codificador magnético*
magnetic wheel speed sensor: *sensor magnético de velocidad de la rueda*
main: *principal*
main oil gallery: *galería principal del aceite*
maintenance free battery: *batería libre de mantenimiento*
malfunction: *funcionamiento defectuoso*
malfunction indicator lamp (MIL): *luz indicadora de mal funcionamiento «MIL»*
maneuvers: *maniobras*
manifold: *colector*
manifold absolute pressure (MAP): *presión absoluta del colector de admisión (MAP)*
manifold heat control valve: *válvula de control del calor del colector*
manifold vacuum: *vacío del colector*
manometer: *manómetro*
manual shut-off valve: *válvula manual de corte*
manual slack adjuster: *ajustador de juego manual*
manual steering: *dirección manual*
manual transmission: *transmisión manual*
manually bled: *sangrado (purgado) manualmente*
manufacturer's specifications: *especificaciones del fabricante*
margin: *margen*
mask: *enmascarar*
mass airflow (MAF): *flujo de la masa del aire*
material safety data sheet (MSDS): *hojas de datos de materiales peligrosos «MSDS»*
maximum output pressure: *presión máxima de salida*
measure: *medir*
measurement: *medida*
mechanical: *mecánico*
mechanical lash adjusters: *ajustadores de juego libre mecánicos*
megohms (MΩ): *mega ohmios (MΩ)*
metal treatment: *tratamiento de metal*
metallic: *metálico*
meter: *medidor*
metering rod: *varilla de regulación*
metering valve: *válvula dosificadora de control*
method: *método*
micrometer: *micrómetro*
miles per gallon (MPG): *millas por galón*
miles per hour (mph): *millas por hora*
mill: *fresar*
milliamps (mA): *miliamperios (mA)*
millimeter (mm): *milímetro (mm)*
millisecond (ms): *milisegundos (ms)*
millivolts (mV): *milivoltios (mV)*
mineral oil: *aceite mineral*
minimum thickness: *grosor mínimo*
mirror: *espejo*
misadjusted: *mal ajustado*
misalign: *desalinear*
misaligned: *desalineado*
misfire: *falla*
mistimed: *fuera de tiempo*
mixer: *mezclador*
mixture: *mezcla*
modify: *modificar*
modulated injector pulse width: *duración de pulso de la inyección modulada*
modulator: *modulador*
module: *módulo*
moly grease: *grasa de molibdeno*
monolithic: *monolítico*
motor brushes: *escobillas del motor (eléctrico)*
motor mount (engine mount): *soporte del motor*
mounting: *soporte*
muffler: *silenciador*
multimeter: *multímetro*
multiplexing (MUX): *multiplexado*
multi-viscosity: *multigrado*

N

natural gas: *gas natural*
natural gas vehicle (NGV): *vehículo de gas natural*
needle: *aguja*
needle and seat: *aguja y asiento*
needle bearings: *rodamientos de agujas*
needle valve: *válvula de tipo aguja*
negative: *negativo*
net profit: *ganancia neta*
neumatic: *neumático*
neutralize: *neutralizar*
Newton-meter (N · m): *Newton por metro (N · m)*
Nicked: *mellado, marcado*
no-charge condition: *condición de no carga*
no-crank condition: *condición de no arranca*
noise: *ruido*
noise suppression: *supresión de ruido*
non-structural: *no estructural*
non-weldable material: *material que no se puede soldar*
normally closed (NC): *normalmente cerrado*
normally open (NO): *normalmente abierto*
nozzle: *difusor, tobera*
nut: *tuerca*
nylon washer: *arandela de nailon*

O

obsolete: *obsoleto*
octane: *octano*
octane rating: *clasificación del octano*
odometer: *odómetro*
OEM part: *parte original de fábrica, equipo original*
off: *apagar*
off center: *descentrado*
ohm (Ω): *ohmio (Ω)*
ohmmeter: *ohmiómetro*
oil: *aceite*
oil cooler: *enfriador de aceite*
oil deflector: *deflector para el aceite*
oil dilution: *dilución del aceite*
oil dry: *absorbente de aceite*
oil filter: *filtro de aceite*
oil gallery: *conducto de aceite*
oil level: *nivel del aceite*
oil pan: *cárter*
oil pressure: *presión del aceite*
oil pressure gauge: *indicador de la presión de aceite*
oil pressure indicator light: *luz indicadora de presión de aceite*
oil pressure relief spring: *resorte de alivio de la presión del aceite*
oil pump: *bomba de aceite*
oil pump bypass valve: *válvula de desvío de la bomba de aceite*
oil pump discharge: *descarga de la bomba de aceite*
oil return holes: *agujeros para el retorno del aceite*
oil ring: *anillo de aceite*
on: *encendido*

© Ediciones Paraninfo

on-board diagnostics (OBD): *diagnóstico a bordo*
open: *abierto*
open circuit: *circuito abierto*
open loop: *ciclo abierto*
open-loop operation: *operación en ciclo abierto*
operate: *funcionar*
orifice: *orificio*
O-ring: *sello tipo O (junta tórica)*
oscillate: *oscilar*
oscilloscope: *osciloscopio*
ounce (oz.): *onza*
out of specification: *fuera de especificaciones*
out of specs: *fuera de especificaciones*
outboard: *exterior*
outer: *externo*
out-of-limit (OL): *fuera de límite*
out-of-parallel: *fuera de paralelismo*
out-of-phase: *fuera de fase*
out-of-round: *ovalado*
out-of-square: *descuadrado*
output: *salida*
output current: *corriente de salida*
output shaft: *eje de salida*
outside: *exterior*
outside diameter (OD): *diámetro externo*
oven: *horno*
over revved engine: *motor muy revolucionado*
over tightened: *sobreapretado*
over torquing: *sobreapretar*
overadjusted: *demasiado ajustado*
overboost: *presión en exceso de su limite*
overcharge: *sobrecarga*
overdrive: *sobremarcha*
overfilled: *sobrellenado*
overflow: *sobrellenar*
overfuel: *exceso de combustible*
overhang: *sobresaliente*
overhaul: *reconstrucción*
overhead cam engine: *motor con árbol de levas en la culata*
overhead valve (OHV): *válvulas en culata*
overheat: *sobrecalentar*
overheated: *sobrecalentado*
overlap: *solape*
overrunning: *rodamiento libre*
oversize: *sobremedida*
oversize pistons and rings: *pistones y anillos sobre medida*
oversized: *sobremedida*
overspeed: *pasar la velocidad máxima*
oxidation: *oxidación*
oxides of nitrogen (NO_X): *óxidos de nitrógeno (NO_X)*
oxy-acetylene welding: *soldadura de oxígeno y acetileno*
oxygen (O_2): *oxígeno (O_2)*
oxygen sensor (O_2S): *sensor de oxígeno*

P

pack: *empacar*
packaging: *empacando*
pads: *pastillas (balatas/pads)*
PAG oil: *aceite PAG*
pair: *par*
pan: *bandeja, cacerola*
paraffin: *parafina*
parallel: *paralelo*
parasitic: *parásito*
park position: *posición de estacionamiento*
parking brake: *freno de estacionamiento*
parking brake switch: *interruptor del freno de estacionamiento*
part: *parte*
parts per million (ppm): *partículas por millón*
passenger: *pasajero*
PCV system: *sistema PCV*
PCV valve: *válvula PCV*
Peen: *martillar*
pellet-type: *de tipo bola*
perform: *realizar*
performance test: *prueba del rendimiento*
petroleum jelly: *vaselina*
pickup: *captador*
pigtail lead: *cable flexible*
pilot: *piloto*
pin: *terminal*
pinion: *piñón*
pinion spacer: *espaciador del piñón*
pipe: *tubo*
piston: *pistón*
piston pin: *pasador del pistón*
piston ring: *segmento del pistón*
piston ring end gap: *abertura del segmento del pistón*
piston skirt: *falda del pistón*
piston travel: *recorrido del pistón*
pitted: *picado, carcomido*
plane: *aplanar*
planetary gearset: *juego de engranajes planetarios*
plate: *plato*
play: *juego libre*
plug: *tapón*
plug wire: *cable de la bujía*
plugged: *obstruido*
plunge CV joint: *junta homocinética deslizante*
polarity: *polaridad*
poor: *pobre*
popoff valve: *válvula de alivio*
porosity: *porosidad*
porous: *poroso*
port: *orificio*
positioned: *colocado*
positive: *positivo*
positive crankcase ventilation system (PCV): *sistema de ventilación positiva del cárter (PCV)*
pound (lb.): *libra*
pound-foot (lb · ft): *pies por libra*
pounds per square inch (psi): *libras por pulgada cuadrada*
power: *potencia*
power balance: *balance del rendimiento de la fuerza*
power bleed: *sangrar con presión*
power booster: *reforzador*
power circuit: *circuito de potencia*
power enrichment: *enriquecimiento de la mezcla*
power shifting: *cambio rápido forzado de una transmisión manual sin liberar el embrague o acelerador*
power steering: *dirección asistida*
power steering pump: *bomba de la dirección asistida*
power supply: *fuente de energía*
power take off (PTO): *toma de fuerza*
powertrain: *tren de potencia*
powertrain control module (PCM): *módulo de control del tren de potencia*
precombustion chamber: *cámara de precombustión*
preheat: *precalentar*
preheater: *precalentador*
preignition: *preencendido*
preload: *precarga*
press: *prensa*
press fit: *acoplado a presión (con interferencia)*
pressure: *presión*
pressure differential valve: *válvula de presión diferencial*
pressure drop: *caída de presión*
pressure plate: *plato de presión*
pressure protection valve: *válvula de protección contra la alta presión*
pressure regulator: *regulador de presión*
pressure test: *prueba de la presión*
pressure transducer: *transductor de presión*
pressurize: *presurizar*
prevent: *prevenir*
primary: *primario*
primary winding: *bobinado primario*

© Ediciones Paraninfo

prime: *purgar, cebar*
printed circuit: *circuito impreso*
probe: *probar*
procedure: *procedimiento*
production date: *fecha de producción*
program: *programa*
propeller shaft: *eje propulsor*
proper operation: *operación normal*
proportioning valve: *válvula proporcional*
propylene glycol: *propileno glicol*
prorate: *prorratear*
protect: *proteger*
pry-bar: *palanca*
pull: *tirar*
puller: *extractor*
pulley: *polea*
pulsate: *pulsar*
pulse generator: *generador de pulsos*
pulse width: *duración de pulso*
pump: *bomba*
purge: *purgar*
pushrod: *varilla de empuje*
put into gear: *poner en velocidad*

Q

quarter panel: *panel lateral trasero*
quick disconnect fitting: *acoplador de desconexión rápida*
quick release valve: *válvula de liberación rápida*
quick take-up master cylinder: *bomba maestra escalonada*
quick take-up valve: *válvula escalonada*

R

race: *pista*
rack and pinion: *piñón y cremallera*
rack and pinion steering: *dirección de piñón y cremallera*
radial clearance: *juego libre radial*
radial runout: *desviación radial*
radiator: *radiador*
radiator core: *núcleo del radiador*
radiator hose: *manguito del radiador*
radiator shutter: *rejillas del radiador*
radiator tank: *tanque del radiador*
range: *rango*
rapid: *rápido*
ratio: *relación*
rattle: *traqueteo*
reach: *alcanzar*
readings: *lecturas*
rear: *trasero*
rear antilock braking system (RWAL): *frenos antibloqueantes traseros (RWAL)*
rear axle: *eje trasero*
rear suspension: *suspensión trasera*
rear-wheel drive: *tracción trasera*
rear-wheel drive vehicle: *vehículo con tracción trasera*
reassemble: *reensamblar*
rebore: *rectificar*
rebound: *rebote*
rebuild: *reconstruir*
rebuilt: *reconstruido*
rebuilt part: *parte reconstruida*
recharged: *recargar*
recirculate: *recircular*
recirculating-ball type steering gear: *caja de la dirección de tipo recirculación de bolas*
recover: *recuperar*
recycle: *reciclar*
reed valve: *válvula de tipo lengüeta*
reference material: *material de referencia*
reference point: *punto de referencia*
refill: *rellenar*
refractometer: *refractómetro*
refrigerant: *refrigerante*
refrigerant dye: *tinte para el refrigerante*
refrigerant recovery and recycling equipment: *equipo de recuperación y reciclaje del refrigerante*
regulator: *regulador*
regulator pressure: *regulador de presión*
regulator valve: *válvula de regulación*
reinforce: *reforzar*
reinstall: *reinstalar*
relative humidity: *humedad relativa*
relay: *relé*
release: *soltar*
released: *suelto*
released position: *posición suelta*
relief: *alivio*
remanufactured: *remanufacturado*
remanufactured part: *parte remanufacturada*
remote: *remoto*
remove: *quitar*
repair: *reparar*
replace: *reemplazar*
replacement: *sustituto*
reprogram: *reprogramar*
reservoir: *depósito*
residual magnetism: *magnetismo residual*
resin: *resina*
resistance: *resistencia*
resonator: *silenciador del escape*
restart: *arrancar nuevamente*
restore: *restaurar*
restrict: *restringir*
restricted: *restringido*
restriction: *restricción*
resurface: *rectificar*
retap: *rectificar las roscas con la terraja*
retarded: *atrasado*
retractor: *retractor*
retrain: *reiniciar*
retrofit: *convertir*
return: *regresar*
return hose: *manguito de retorno*
return spring: *muelle de retorno*
reuse: *volver a usar*
rev up: *elevar las revoluciones*
reverse flush: *limpiar o purgar en flujo inverso*
reverse idler gear: *engranaje loco de la marcha atrás*
revolutions per minute (rpm): *revoluciones por minuto*
rich: *rico*
ridge: *borde*
rigid: *rígido*
ring: *anillo, aro*
ring gear: *corona*
rivet: *remache*
road test: *prueba en carretera*
rocker arm: *balancín*
rocker arm pivot: *pivote para el balancín*
rocker panel: *estribo*
rod bearing: *cojinete de la biela*
roll: *rodar*
roller: *rodillo*
roller bearing: *rodamiento de rodillos*
rotary: *rotatorio*
rotate: *rotar*
rotated: *rotado*
rotation: *rotación*
rotor: *disco*
rough: *áspero*
rough idle: *ralentí inestable*
rubber: *goma*
rubbing compound: *pasta para pulir*
runout: *desviación*
ruptured: *quebrado, perforado*
rust: *óxido*
rusted part: *parte oxidada*

S

saddle: *soporte, asiento*
SAE thread: *tipo de rosca SAE*
sand: *lijar*
sand paper: *papel de lija*

© Ediciones Paraninfo

sand scratch: *rayas de la lija*
sander: *lijadora*
scale: *escala*
scalloped: *ondulado*
scan tool: *escáner*
schematic: *esquema, esquemático*
scope: *osciloscopio*
score: *arañar*
scored: *rayado*
scrape: *raspar, escariar*
scraper: *espátula*
screw: *tornillo*
screw-in: *atornillar hacia adentro*
scuff: *rascar, desgastar*
seal: *sello*
sealant: *sellador*
sealed surfaces: *superficies selladas*
sealer: *sellador*
sealing compound: *compuesto sellador*
sealing washers: *arandelas selladoras*
seam: *grieta, unión*
seam sealer: *sellador para grietas*
seat: *asiento*
seat counterbore: *agujero escariado (cónico) del asiento*
secondary: *secundario*
secondary air injection: *inyección de aire secundario*
secondary winding: *bobinado secundario*
section: *seccionar*
selector switch: *interruptor selector*
self-adjusting: *ajuste automático*
self-check: *autoverificación*
self-diagnosis: *autodiagnóstico*
self-locking nut: *tuerca de seguridad*
sending unit: *unidad de envío*
sensor: *sensor*
separation: *separación*
sequence: *secuencia*
sequential multiport fuel injection: *inyección de combustible secuencial*
serial number: *número de serie*
service: *servicio*
service interval: *intervalo de servicio*
service manual: *manual de servicio*
set: *juego*
set up: *preparar*
setting: *valor*
setup: *montaje*
shackle: *mordaza*
shaft: *eje*
shape: *formar*
sheared: *cortado*
sheet metal: *lámina de metal*
shielded: *blindado*
shift: *cambiar*
shifter: *palanca de velocidades*
shim: *espaciador*
shock absorber: *amortiguador*
short circuit: *cortocircuito*
short cycle: *ciclo corto*
shutdown: *apagar*
shut-off solenoid: *solenoide de corte*
side: *lado*
side gear: *engranaje lateral*
signal: *señal*
silencer: *silenciador*
silicone: *silicona*
silicone rubber sealant: *sellador de silicona*
single flare: *avellanado sencillo*
skid: *paleta*
skirt: *falda*
slack adjuster: *ajustador del juego libre*
slave cylinder: *cilindro esclavo*
sleeve: *camisa*
slide hammer: *martillo deslizante*
slide pin: *perno deslizante*
slip: *deslizar, patinar, resbalar*
slippery: *resbaladizo*
slow charge: *carga lenta*
slow cranking: *arranque lento*
sludge: *sedimento*
smoke: *humo*
smoke limiter: *limitador para el humo*
smoothly: *suavemente*
snap throttle: *acelerar bruscamente*
sodium filled: *lleno de sodio*
soft: *blando*
solenoid: *solenoide*
solenoid valve: *válvula tipo solenoide*
solid axle: *eje rígido*
solid state: *electrónico*
solvent: *solvente*
spacer: *espaciador*
spark: *chispa*
spark plug: *bujía*
spark plug gap: *abertura de la bujía*
spark plug insulator: *aislador de la bujía*
specs: *especificaciones*
speed: *velocidad*
speed sensor: *sensor de velocidad*
speedometer: *velocímetro*
spin: *girar*
splice: *unir*
splines: *estrías*
split: *dividido*
spreader: *aplicador*
spring: *resorte, muelle*
sprocket: *rueda dentada*
square: *cuadrado*
squirt: *chorro*
stabilizer bar: *barra estabilizadora*
stainless steel: *acero inoxidable*
start: *arrancar*
starter: *motor de arranque*
starter drive: *piñón del motor de arranque*
starter motor: *motor de arranque*
starting fluid: *fluido para arrancar el motor*
steel: *acero*
steer axle: *eje de dirección*
steering column: *columna de la dirección*
steering damper: *amortiguador de la dirección*
steering gear: *caja de la dirección*
steering wheel: *volante de la dirección*
stem: *vástago*
step: *paso*
stepped: *escalonado*
stepper motor: *motor paso a paso*
stiff: *rígido*
stiffness: *rigidez*
stoichiometric: *estequiométrica*
stop: *parar*
strap: *correa*
stretch: *estirar*
strike: *golpear*
strip: *desarmar*
stroke: *recorrido*
stuck: *trabado*
stud: *espárrago*
subframe: *subchasis*
suction: *succión*
sulfated: *sulfatado*
supercharged engine: *motor con un supercargador*
supercharger: *supercargador*
supplemental coolant additives: *aditivos suplementales para el anticongelante*
supply: *suministro*
supply pump: *bomba de suministro*
support: *soporte*
surface: *superficie*
surge: *titubear, oscilar*
swap: *intercambiar*
sway bar: *barra estabilizadora*
switch: *interruptor*
synchronizer: *sincronizador*
synchronizer keys: *cuñas del sincronizador*
synchronizer teeth: *dientes del sincronizador*
synthetic: *sintético*
system: *sistema*

T

tachometer: *tacómetro*
tail pipe: *tubo de escape*
tandem axle: *eje doble, eje tándem*

© Ediciones Paraninfo

tank: *tanque*
tap: *orificio*
tap and die: *juego de terrajas machos y hembras*
tape: *cinta*
taper: *conicidad*
tapered: *cónico*
tapered roller bearing: *rodamiento rodillo tipo cónico*
tappet: *botador (lifter)*
TDC: *punto muerto superior*
teardown: *desarmar*
technical bulletin: *boletín técnico*
technician: *técnico*
teflon tape: *cinta de teflón*
temperature gauge: *indicador de temperatura*
temperature sensor: *sensor de temperatura*
tensioner: *tensor*
test: *prueba*
tester: *probador*
thermal: *térmico*
thermal timer: *interruptor térmico de tiempo*
thermistor *termistor*
thermostat: *termostato*
thermostat opening temperature: *temperatura de la apertura del termostato*
thickness: *grosor*
thinner: *diluyente, disolvente*
thread: *enroscar*
thread: *roscas*
three-way converter (TWC): *catalizador de tres vías*
throttle: *mariposa del acelerador*
throttle body: *cuerpo de la mariposa*
throttle cable: *cable del acelerador*
throttle position sensor: *sensor de la posición de la mariposa del acelerador*
thrust: *empuje*
thrust bearing: *cojinete de empuje lateral*
thrust face: *área de contacto*
thrust wear: *desgaste por fricción*
tight: *apretado*
tighten: *apretar*
timed: *sincronizado*
timing chain: *cadena de distribución*
timing cover: *cubierta de la distribución*
timing gear: *engranaje de la distribución*
timing mark: *marca de la distribución*
tin: *estaño*
tire: *llanta, neumático*
tolerance: *tolerancia*
too much: *demasiado*
tool: *herramienta*
tooth: *diente*
top dead center (TDC): *punto muerto superior*
torque: *par*
torque converter: *convertidor de par*
torque-angle bolt tightening method: *método para apretar los tornillos de con apriete angular*
torsión bar: *barra de torsión*
torsion spring: *resorte de torsión*
touch up: *retocar*
tow truck: *grúa*
traction: *tracción*
tramp: *rebotar*
transaxle: *transmisión transversal*
transfer case: *caja de transferencia*
transfer pump: *bomba de transferencia*
transmission: *transmisión*
transmission control module (TCM): *módulo de control de la transmisión*
transmission cooler: *enfriador del aceite de la transmisión*
transmission fluid: *aceite de transmisión*
trigger: *gatillo, disparador*
trip odometer: *odómetro de viaje*
tripod CV joint: *junta homocinética trípode*
trouble code: *código de fallo*
troubleshoot: *localizar el problema*
true: *rectificar*
trunk: *maletero*
turbine: *turbina*
turbine shaft: *eje de la turbina*
turbine wheel: *rueda de la turbina*
turbocharged engine: *motor con un turbocompresor*
turbocharger: *turbocompresor*
turn: *girar*
turned to start: *en posición de arranque*
twist: *trenzar*
twisted: *torcido*
twisted conductors: *conductores trenzados*
typical: *típico*

U

ultra-high strength steel (UHSS): *acero de alta resistencia*
unbalanced: *desequilibrado*
under load: *bajo carga*
undercar: *bajo el vehículo*
undercharged: *bajo de carga*
undersize: *menor tamaño*
undersized: *bajo medida*
undertorqued: *poco apretado*
unit: *unidad*
unit inyector: *unidad del inyector*
universal joint: *unión universal*
universal measuring system: *sistema de medida universal*
unloaded: *descargado*
upgraded: *mejorar calidad*
upholstery: *tapicería*
upper control arm: *brazo de control superior*
upshift: *cambio hacia arriba*

V

vacuum: *vacío*
vacuum advance: *avance de vacío*
vacuum advance diaphragm: *diafragma para el avance de vacío*
vacuum brake booster: *reforzador de vacío de freno*
vacuum diaphragm: *diafragma de vacío*
vacuum gauge: *medidor de vacío (vacuómetro)*
vacuum hose: *manguito de vacío*
vacuum line: *línea de vacío*
vacuum pump: *bomba de vacío*
vacuum reservoir: *depósito de vacío*
vacuum solenoid: *solenoide de vacío*
vacuum suplí: *suministro de vacío*
vacuum test: *prueba de vacío*
vacuum-assisted: *asistencia de vacío*
valve: *válvula*
valve body: *cuerpo de válvulas*
valve bridge (crosshead): *dispositivo que opera dos válvulas con un balancín*
valve cover: *tapa de balancines*
valve guide: *guía de la válvula*
valve guide seal: *retén de la guía de la válvula*
valve keepers: *seguros de las válvulas*
valve lash: *juego libre de las válvulas*
valve lift: *elevación de la válvula*
valve plate: *plato de válvula*
valve seat: *asiento de la válvula*
valve spring: *resorte de la válvula*
valve stem: *vástago de la válvula*
valve timing: *sincronización de tiempo de las válvulas*
valve tip: *parte superior de la válvula*
valve train: *tren de las válvulas*
vane airflow meter: *medidor de tipo paleta para el flujo de aire*
vapor lock: *obstrucción de vapor*
vapor seal: *sello para el vapor*
variable assist power steering: *dirección asistida variable*
variable displacement: *desplazamiento*

© Ediciones Paraninfo

variable
vehicle: *vehículo*
vehicle identification number (VIN): *número de identificación del vehículo*
vehicle speed: *velocidad del vehículo*
vehicle speed sensor (VSS): *sensor de velocidad del vehículo*
vent: *respiradero*
vented rotor: *disco ventilado*
venting system: *sistema de ventilación*
vibration: *vibración*
viscosity: *viscosidad*
viscous fan clutch: *embrague viscoso del ventilador*
volatile organic compound (VOC): *componentes orgánicos volátiles*
voltaje: *voltaje*
voltage drop: *caída de voltaje*
voltage gauge: *indicador de voltaje*
voltage regulator: *regulador de voltaje*
voltmeter: *voltímetro*
volts (V): *voltios*
volume: *volumen*

W

warm: *tibio*
warm-up: *calentar*
warning: *advertencia*
warped: *torcido, distorsionado*
warranty: *garantía*
washer: *arandela*
wastegate: *compuerta de descarga*
water: *agua*
water jacket: *camisa de agua*
water pump: *bomba de agua*
water pump impeller: *impulsor de la bomba de agua*
water separador: *separador de agua*
wax: *cera*
weak: *débil*
wear: *desgaste*
wedge: *cuña*
weld: *soldadura*
welding helmet: *casco de soldar*
welding spatter: *chispa de soldadura*
wet: *mojado*
wet sand: *lijar en mojado*
wheel: *rueda*
wheel lug nuts: *tuercas de la rueda*
whine: *silbido alto*
white lube: *grasa blanca para la lubricación*
wide open throttle (WOT): *acelerador completamente abierto*
width: *anchura*
winding: *bobinado*
windshield: *parabrisas*
wire: *cable*
wire brush: *cepillo de alambre*
wire gauge: *calibre del alambre*
wire insulation: *material aislante del cable*
wiring: *cableado*
wiring diagram (wiring schematic): *esquema para el cableado*
wiring harness: *cableado*
wobble: *oscilación*
work hardening: *metal endurecido por sobretrabajo*
working pressure: *presión de trabajo*
worm gear: *engranaje sinfín*
worn: *desgastado*
wrinkle: *arruga*
wrist pin: *pasador del pistón, perno del pistón*
wrong: *incorrecto*

Y

Y-connection: *conexión en estrella o Y*
yarn: *hilo*
yield: *rendimiento*
yield point: *límite elástico*
yoke: *horquilla yugo*

Z

Zahn cup: *copa tipo Zahn*
zero: *cero, nulo*
zeroed: *puesta a cero*
zigzag connection: *conexión en zig zag*

© Ediciones Paraninfo

Anexo D. Conversión de unidades

Sistemas de Unidades	
Sistema	**Unidades básicas**
Internacional (S.I.)	metro [m], kilogramo [kg], segundo [s]
Cegesimal (C.G.S)	centímetro [cm], gramo [g], segundo [s]
Inglés	pie [ft], libra [lb],segundo [s]

Prefijos del Sistema Internacional				
Prefijo	**Símbolo**	**Factor por el que hay que multiplicar la unidad**		
exa	E	10^{18}	=	1 000 000 000 000 000 000
peta	P	10^{15}	=	1 000 000 000 000 000
tera	T	10^{12}	=	1 000 000 000 000
giga	G	10^{9}	=	1 000 000 000
mega	M	10^{6}	=	1 000 000
kilo	k	10^{3}	=	1 000
hecto	h	10^{2}	=	100
deca	da	10^{1}	=	10
deci	d	10^{-1}	=	0,1
centi	c	10^{-2}	=	0,01
mili	m	10^{-3}	=	0,001
micro	μ	10^{-6}	=	0,000 001
nano	η	10^{-9}	=	0,000 000 001
pico	p	10^{-12}	=	0,000 000 000 001
femto	f	10^{-15}	=	0,000 000 000 000 001
atto	a	10^{-18}	=	0,000 000 000 000 000 001

(No se recomienda el uso de los prefijos hecto, deca, deci y centi)

Tabla de unidades y equivalencias		
Magnitud	**Unidad [símbolo] en el S.I.**	**Equivalencias**
Longitud	metro [m]	1 m = 100 cm = 10^3 mm 1 km = 10^3 m 1 pulgada (in) = 25,4 mm 1 pie (ft) = 304,8 mm 1 milla (mi) = 1,61 km
Superficie	metro cuadrado [m^2]	1 m^2 = 10^4 cm^2 = 10^6 mm^2
Volumen	metro cúbico [m^3]	1 m^3 = 10^6 cm^3 = 10^3 litros (l)
Masa	kilogramo [kg]	1 kg = 10^3 g 1 libra (lb) = 0,45 kg
Densidad	kilogramo entre metro cúbico [kg/m^3]	1 kg/m^3 = 10^{-3} g/cm^3 = 10^{-3} kg/l = 1 g/l
Velocidad	metros por segundo [m/s]	1 m/s = 3,6 km/h 1 km/h = 0,62 millas por hora (mph)
Fuerza	Newton [N]	1 N = 10^{-3} kN 1 N = 10^5 Dina = 7,23 Poundal (pdl) 1 N = 0,1 kilopondio (kp) = 0,1 kilogramo fuerza (kgf)
Trabajo, energía, calor	Julio [J]	1 J = 1 N · m = 0,102 m · kg = 0,74 ft · lb 1 J = 0,24 cal 1 kWh = 3,6 · 10^6 J = 8,6 · 10^5 cal
Potencia	Watio [W]	1 W = 1 J/s 1 kW = 10^3 W 1 CV = 735,5 W = 0,986 hp 1 hp = 745,7 W = 1,014 CV
Presión	Pascal [Pa]	1 Pa = 1 N/m^2 1 bar = 10^5 Pa = 1,02 kg/cm^2 = 750 mmHg = 750 Torr 1 atm = 1,013 · 10^5 Pa = 1,013 bar = 1,03 kg/cm^2 = 760 mmHg
Temperatura	Grado Kelvin [°K]	273,15 °K = 0 °C = 32 °F x [°C] + 273,15 = y [°K] (para pasar de x °C a y °K) x [°C] · 9/5 + 32 = y [°F] (para pasar de x °C a y °F)
Frecuencia	Hertzio [Hz]	1 Hz = 1 ciclo/s = 60 rev/s = 6,28 rad/s

© Ediciones Paraninfo

Índice analítico

A

Absorción, 201
Actuador
  de la mariposa, 369
  electrohidráulico, 359
Acumulador de presión, 349
AdBlue®, 611
Adiabáticas, 13
Admisión, 18
  por láminas, 173
Ajuste
  con apriete, 63
  con juego, 63
Aleta sonda, 385
Alzado, 181
Amortiguador de cierre
  de la mariposa, 339
Amortiguadores torsionales, 94
Analizador de gases, 613
Ángulo
  de apertura, 283
  de asiento, 106
  de cierre, 283
  disponible, 283
Anticongelante, 246
Apriete angular, 150
Árbol de levas, 98
Área del pistón, 16
Arrollamiento
  primario, 276
  secundario, 278
Autoencendido, 325
Automaticidad, 334
Avance
  de la apertura de la admisión (AAA), 29
  de la apertura del escape (AAE), 29
  del encendido (AE), 30

B

Balancín, 98
  flotante de rodillos, 109
Bancada, 71
Banco de ensayos, 40
Barrido, 171
Batería, 276, 279
Biela, 79
Biodiésel, 435
Bioetanol, 323
Biogás, 323
BIP, 513
Bloque, 62
Blow-by, 581
Bobina, 276, 279
Bomba (s)
  de aceite, 222
  de aceite con regulación electrónica, 230
  de aceite de corredera oscilante, 225
  de aceite de dos fases, 224
  de aceleración, 335
  de agua, 247
  de cilindro único y dosificación regulada, 402
  de émbolo accionada por disco oscilante, 405
  de líquido refrigerante desacoplable, 263
  de transferencia, 439
  de tres émbolos, 403
  en línea, 442
  reguladas de forma mecánica-hidráulica, 224
Botador, 136
Bruñido, 63
Bujías, 288
Bulón, 78

C

Caballos de vapor (CV), 46
Cables de alta tensión, 287
Calado de la distribución, 156
Calentadores, 451
Calibre, 135
Calor (Q), 11
Cámara
  de precombustión, 439
  de turbulencia, 439
Camisa, 63
Campo magnético, 276
CAN-Bus, 395
Cánister, 581
Cápsula de cera, 251
Captadores ópticos, 305
Carburador
  con gestión electrónica, 343
  de doble cuerpo, 342
  doble, 342
  elemental, 330
Carburadores de difusor variable, 345
Carrera, 16
Cárter, 72
Catalizadores de oxidación, 586
Caudalímetro de aleta, 385
Ciclo
  de Carnot, 13
  de trabajo, 16
  térmico, 13
Cigüeñal, 83
Cilindrada total (V_T), 17
Cilindro, 16
Circuito
  de progresión, 337
  de ralentí, 337
  primario, 276
  principal o de régimen normal, 334
Clasificación
  ACEA, 216
  API, 214
Código(s)
  de avería estandarizados, 618
  de destellos, 380
Cojinetes, 81
  axiales, 82
Colector
  de admisión, 73
  de admisión variable de dos niveles, 177
  de admisión variable de tres niveles, 178
  de escape, 73
Collarín de regulación, 464
Comburente, 4, 324
Combustible, 4, 324

© Ediciones Paraninfo

Combustión, 19
anormal, 325
normal, 324
Compresión, 19
Compresor, 540
centrífugo, 544
Comprex, 545
de lóbulos o Roots, 541
de tipo G, 544
de tornillo, 543
eléctrico, 566
Lysholm, 542
Comprobador de muelles de válvula, 137
Condensador, 280
Condición de trabajo, 628
Conicidad, 139
Conjunto distribuidor, 281
Conmutador
de pedal de embrague, 397
de pedal de freno, 397
Consumo específico, 50
Contacto de Reed, 607
Contaminación, 577
Cremallera de regulación, 444
Cuba, 328
Culata, 66
Cuna de motor, 116
Curva de par, 43
Cylinder on demand, 194

D

Daños derivados del trabajo, 628
Densidad del aire, 540
Depósito(s)
de combustible, 326
de gas natural, 419
de GLP, 425
Desactivador del tercer pistón, 524
Desarrollo sostenible, 630
Desulfuración, 602, 611
Detonación, 325
Diagrama
de distribución, 29
del indicador, 32
Diámetro, 16
Dióxido
de azufre, 577
de carbono, 576
Distribuidor-dosificador
de combustible, 352
Dosado, 49
absoluto (F), 49
estequiométrico (F_e), 49
relativo (F_R), 49
Dosificador regulador del caudal, 478
Downsizing, 47
DTC, 618
Dwell, 283

E

Ecuación de Nerst, 589
EDC, 453
Efecto
Hall, 294
Venturi, 331
Eficiencia energética, 630
Ejes de equilibrado, 86
Elasticidad, 52
Elastohidrodinámica, 210
Electroválvula(s)
de alta presión para el funcionamiento con GLP, 427
del depósito de GLP, 425
insufladoras de gas, 422
Electroventilador, 255
Encendido
convencional, 279
de chispa perdida o simultáneo, 303
electrónico integral, 299
electrónico sin distribuidor, 303
secuencial, 304
transistorizado a contactos, 292
Enfriador
de aceite, 227
de los gases de escape, 596
Enriquecedor
de plena carga, 336
de potencia máxima, 336
Ensayos, 40
Entropía (S), 11
Equilibrado
dinámico, 86
estático, 85
Equilibrio, 10
Equipo
de protección individual (EPI), 628
de trabajo, 628
Escáner universal para diagnóstico, 619
Escape, 20
Escuadra, 137
Esmerilado, 135
Estabilizador de ralentí, 374
Etapa reductora, 421
ETBE, 322
Etilenglicol, 246
Evaporador, 425
Excentricidad, 139
Expansión, 19
Expansor de segmentos, 129

F

Factor lambda (λ), 50
Fase, 181
Fijatornillos, 152
Filtro
de aceite, 226
de aire, 326
de carbón activo, 581
de gas, 427
de gasolina, 327
de partículas con aditivo, 606
de partículas sin aditivo, 602
Flujo magnético, 278
Freno
de fricción, 44
eléctrico, 45
hidráulico, 44
Frente de llama, 28
Fuerza de rozamiento, 208

G

Galgas de espesores, 133
Gas
licuado del petróleo (GLP), 323, 418
natural, 323
natural comprimido, 417
natural licuado, 418
Gasolina, 322
GDI, 413
Generador
Hall, 294
inductivo, 296
Goniómetro, 150
Grado térmico, 290

H

Hidrocarburos sin quemar, 577
Hidrodinámica, 209
Hidrólisis, 611
Hidrostática, 210
HPI, 413

I

IDE, 414
Impacto ambiental, 630
Indicador
de llenado de GLP en el depósito, 425
de nivel de gas y conmutador de selección de combustible, 428
de temperatura, 261
Índice
de cetano, 434
octano, 322
Intercooler, 546
Interferencia, 201
Inyector
de arranque en frío, 356
piezoeléctrico, 407, 529

© Ediciones Paraninfo

Inyectores
de espiga, 450
de orificios, 451
Isóbaras, 13
Isócoras, 13
Isotérmicas, 13

J

JTS, 414
Juego
axial, 139
de montaje, 139
Junta
de culata, 69
líquida, 150

K

K-Jetronic, 347
KE-Jetronic, 358
KE1-Jetronic, 363
KE2-Jetronic, 363
KE3-Jetronic, 363
KE-Motronic, 363
Kilowatios (kW), 46

L

Lazo de bombeo, 168
L-Jetronic, 385
LE-Jetronic, 391
LE2-Jetronic, 391
LE3-Jetronic, 392
Leva, 281
LH-Jetronic, 392
Líquido refrigerante, 246
Llave de contacto, 279
LU-Jetronic, 391
LU2-Jetronic, 391
Lubricación
a presión, 220
por impregnación, 221
por mezcla, 219
Lumbreras, 171

M

Manocontacto, 229
Manómetro, 230
Máquina térmica, 2
Marginal, 210
Mármol de metrología, 138
Material particulado, 577
Mecanismo
biela-manivela, 16
de avance centrífugo, 284
de avance por carga, 285
Medidor
de la masa de aire de hilo caliente, 392
de masa de aire de película caliente, 393
del caudal de aire, 348
Mezcla
estequiométrica, 50
pobre, 50
rica, 50
Micrómetro, 135
MIL (*Malfunction Indicator Light*), 620
Minerales, 211
Modo
estratificado, 409
homogéneo, 411
homogéneo pobre, 411
Módulo de pedal acelerador, 395
Monogrado, 212
Monolito, 587
Mono-Jetronic, 369
Mono-Motronic, 376
Monóxido de carbono, 577
Motor
de Combustión Interna (MCI), 2
de Combustión Interna Alternativo (MCIA), 2
de Encendido por Compresión (MEC), 2
de Encendido Provocado (MEP), 2
eléctrico paso a paso, 374
térmico, 2
Motores
atmosféricos, 5
sobrealimentados, 5
Motronic ME 7, 395
Motronic MED 7, 402
Motronic, 393
MTBE, 322
Multigrado, 212

N

Nicolaus August Otto, 2
Nitrógeno, 576
Número
de cetano, 434
de cilindros (z), 17

O

Opacímetro, 616
Orden de encendido, 88
Oscilograma, 313
Ovalamiento, 139
Óxidos de nitrógeno, 577
Oxígeno, 576

P

Paladio, 586
Par efectivo, 42
Partículas, 602
Piñón desacoplado, 97
Pipa, 283
Pistola estroboscópica, 311
Pistón, 16, 73
Platino, 586
Plato sonda, 352
Plena carga, 43
Poder
antidetonante, 322
calorífico, 322
calorífico del combustible, 51
Polea para la cancelación de vibraciones, 97
Portainyector, 450
Potencia, 45
corregida, 540
efectiva, 46
Potenciómetro de la mariposa de gases, 373
Presión, 10
media efectiva, 47
media indicada, 33
Prevención, 628
Proceso termodinámico, 11
Punto limpio, 630

R

Radiador, 250
Rampa
de gas, 419
de inyección, 388
distribuidora de gas, 422, 427
Reciclar, 630
Reflexión, 201
Regla de planitud, 133
Reglaje de válvulas, 158
Regulador
de la fase de calentamiento, 354
de mínimo y máximo, 467
de presión de gas, 419
de todas las velocidades, 465
Relación
de compresión, 541
de compresión (r), 17
Relé taquimétrico, 329, 349
Reloj comparador, 135
Rendimiento
del diagrama, 33
efectivo, 51
térmico, 15
térmico teórico, 32
volumétrico (η_V), 168

© Ediciones Paraninfo

Residuo, 630
Retén, 152
Retraso
  del cierre de la admisión (RCA), 29
  del cierre del escape (RCE), 29
Reutilizar, 630
Riesgo laboral, 628
Rodio, 586
Rudolf Diesel, 2
Ruptor, 276, 281

S

SAE, 212
SCC, 414
Segmentos, 76
Semisintéticos, 211
Sensor
  de carrera de la aguja, 475
  de detonaciones, 301
  de nivel y estado del aceite, 232
  de NO_X, 601
  de oxígeno, 587
  de presión de gas, 423
  de presión diferencial de los gases de escape, 605
  de presión en el colector de admisión, 300
  de presión en el depósito, 421
  de régimen de giro, 299
  MAP, 393
Señal PWM, 362
Silenciador, 199
Silentblocks, 117
Sintéticos, 211
Sistema(s)
  con doble inyección, 415
  de arranque en frío, 338
  de distribución variable con variador celular de aletas, 186
  de distribución variable con variador de fase mediante pistón hidráulico, 184
  de distribución variable con variador de fase mediante tensor hidráulico, 181
  de distribución variable Multiair, 194
  de distribución variable Valvelift, 193
  de distribución variable Valvetronic, 192
  de distribución variable VTEC, 191
  de escape,199
  de ventilación del cárter, 228
  DOHC, 99
  EOBD, 617
  húmedo, 611
  OBD, 616
  OHC, 98
  OHV, 98
  PCV, 581
  pulsair, 584
  seco, 610
Sonda
  de nivel, 230
  de temperatura de aire, 373
  lambda, 587
  lambda de banda ancha, 592
Soporte(s)
  en V, 138
  para motores, 118
Subproducto, 630
Surtidores de aceite, 226

T

Tapa de balancines, 71
Taqués
  hidráulicos, 108
  mecánicos, 108
TBN, 211
Temperatura, 10
Teorema de Bernoulli, 331
Terminal de diagnóstico normalizado, 618
Termocontacto, 257
Termodinámica, 10
Termosifón, 244
Termostato(s), 251
  de doble válvula, 253
  regulado electrónicamente, 253
Testigo
  de avería EPC, 397
  MIL, 591
  para el filtro de partículas diésel, 606
Tetraetilo de plomo, 322
TFSI, 414
Tiempo de retraso, 23, 437
Tobera, 450
Toma de llenado de gas, 418, 424
Tornillo de riqueza, 337
Trabajo, 11
Transformaciones termodinámicas, 13
Transistor, 292
Tren alternativo, 73
Trigger, 314
TSI, 414
Tuberías de gas, 420, 425
Tubo emulsor, 334
Turbina, 547
Turbocompresor, 546
  de geometría variable, 554

U

Unidad
  central de inyección, 369
  de control del funcionamiento con gas, 428
  de mando de la mariposa, 396

V

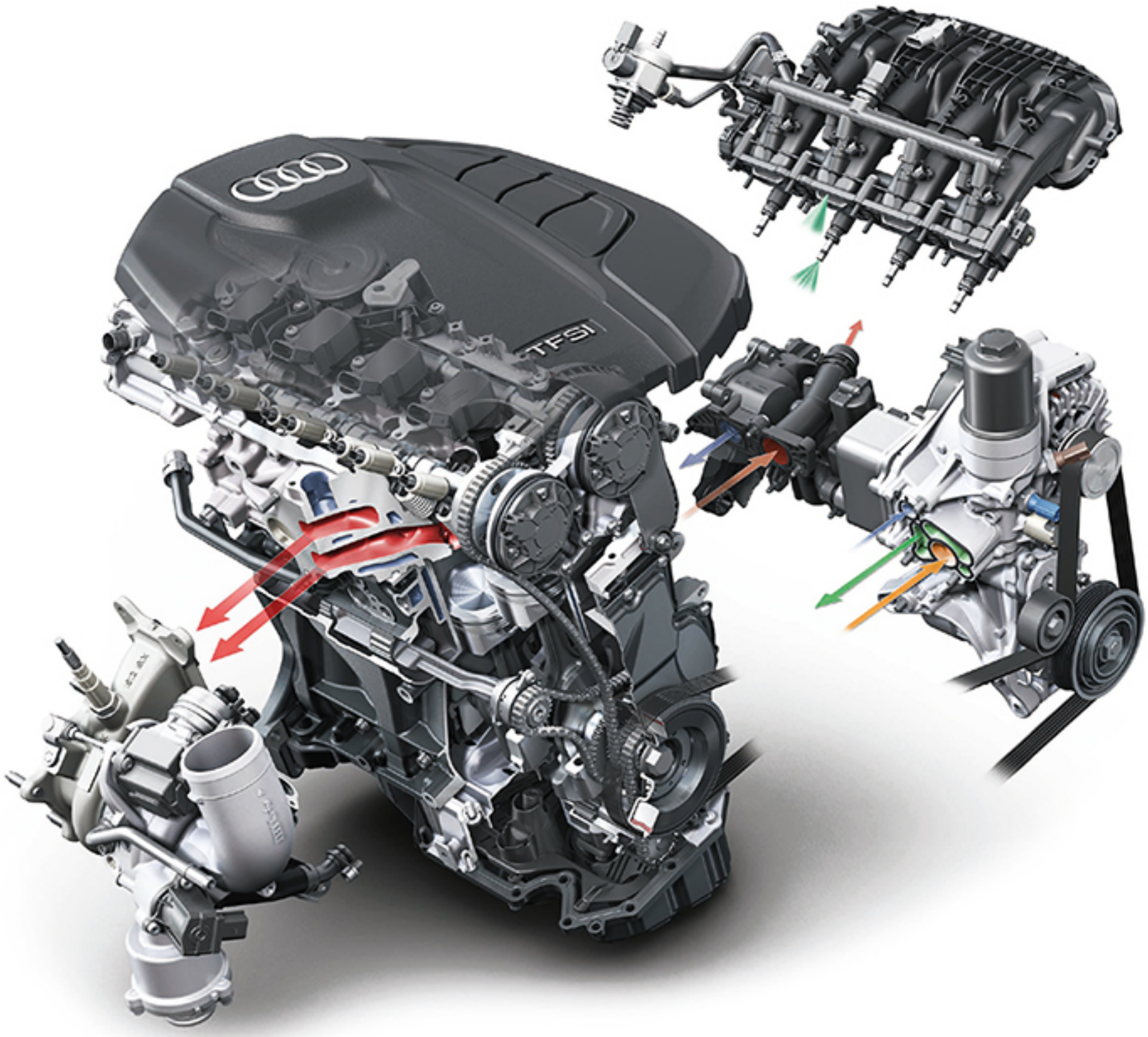
Valorización, 630
Válvula(s), 104
  amortiguadora, 554
  de aire adicional, 356
  de cierre de los depósitos, 420
  de corte de repostaje, 425
  de descarga *wastegate*, 551
  de estabilización de ralentí, 361
  de presión diferencial, 352
  en el tapón del radiador, 255
  en el tapón del vaso de expansión, 255
  rotativas, 173
Variador de avance, 448, 469, 491
Vaso de expansión, 255
Velocidad lineal media del pistón, 53
Ventilador, 255
  de acoplamiento viscoso, 258
Viscosidad, 212
Volante de inercia, 94
  bimásico, 96
Volatilidad, 323
Volumen, 10
  de la cámara de combustión (V_{CC}), 17
  desplazado (V_D), 17

© Ediciones Paraninfo

2.ª edición

Motores térmicos y sus sistemas auxiliares

DAVID GONZÁLEZ CALLEJA



AUTOMOCIÓN

Paraninfo
ciclos formativos

2ª edición

Motores térmicos y sus sistemas auxiliares

DAVID GONZÁLEZ CALLEJA

AUTOMOCIÓN

Paraninfo